

MODALITES ET RISQUES DE TRANSFERT DES CONTAMINANTS DU SOL VERS LES PRODUITS ISSUS DE VOLAILLES ELEVEES EN PLEIN AIR

Jondreville Catherine, Rychen Guido, Feidt Cyril

INPL-ENSAIA, Animal et Fonctionnalités des Produits Animaux, 2, avenue de la forêt de Haye, BP 172, F-54505 VANDOEUVRE-LES-NANCY; INRA, USC340, F-54505 VANDOEUVRE-LES-NANCY

INTRODUCTION

Le mode d'élevage des volailles laisse une place de plus en plus importante aux animaux élevés en plein air. Ce mode de production, qui autorise le contact des animaux avec le milieu extérieur, diminue les possibilités de contrôle du transfert de contaminants vers les produits animaux. En particulier, ces animaux sont susceptibles d'ingérer du sol. Or, les activités humaines engendrent l'émission de contaminants, éléments traces métalliques ou molécules organiques, capables de se déposer sur les sols à proximité mais également à distance des sources d'émission. Afin de préserver la sécurité des aliments, il est important d'identifier les contaminants chimiques susceptibles de présenter un taux de transfert significatif du sol vers les produits alimentaires issus des élevages de volaille (viande, abats, œufs) et de comprendre les mécanismes mis en jeu lors de ce transfert de façon à élaborer des stratégies à même de le prévenir.

Dans cet article, nous rappelons l'origine de contaminants du sol pouvant potentiellement poser un problème de transfert dans la chaîne alimentaire. Le champ a été limité à des molécules provenant principalement d'activités humaines hors pratiques agricoles. Dans un second temps nous faisons le point sur la présence de ces contaminants dans les produits avicoles et sur les mécanismes mis en jeu lors de leur transfert de l'ingéré vers les produits consommables. Enfin, l'impact de la matrice sol sur les taux de transfert est discuté.

1. ORIGINE DES CONTAMINANTS DU SOL

1.1. Eléments traces métalliques (ETM)

A grande échelle, la nature de la roche mère détermine la teneur en ETM des sols. Cependant, la couche superficielle, avec laquelle les animaux peuvent être en contact, est sujette à une contamination d'origine anthropique. En zone rurale, les terrains peuvent avoir été contaminés par des produits phytosanitaires (Zn, Hg, As, Pb, Cu), des fertilisants minéraux (Cd) ou encore des boues de station chargées en ETM (Zn, Hg, Pb, Cu), notamment dans les années 70. Mais, à l'échelle

européenne, la voie atmosphérique, qui représente 66% et 47% des dépôts de Pb et Cd sur les sols (KTBL, 2005), est le principal contributeur à l'enrichissement des sols en ETM. Les sources d'émission d'ETM dans l'atmosphère sont la production d'énergie, l'activité minière, l'industrie métallurgique, le transport et l'incinération de déchets. Leur dépôt sur les sols est ubiquiste, bien que plus élevé à proximité des sources d'émission. En France, les émissions atmosphériques de Pb et Cd ont été considérablement réduites ces quinze dernières années (17,1 t de Cd en 1990 contre 7,6 t en 2004 et 4300 t de Pb en 1990 contre 174 t en 2004) (CITEPA, 2006). L'interdiction en 2000 des formes tétraéthyl ou tétraméthyl de Pb dans l'industrie du pétrole a largement contribué à cette réduction des émissions de Pb dans l'atmosphère. La couche superficielle des sols contient de l'ordre de 30 mg de Pb / kg et 0,3 mg Cd / kg (KTBL, 2005). Cependant, dans des zones très contaminées par une industrie de proximité actuelle ou passée, ces teneurs peuvent atteindre de l'ordre de 5000 mg Pb et 20 mg Cd / kg.

1.2. Polluants organiques persistants (POP)

Les POP (Figure 1) sont des substances organiques qui associent des propriétés leur conférant un caractère toxique, une bioaccumulation potentielle, une stabilité dans les milieux et une propension à migrer vers des milieux éloignés, notamment par voie atmosphérique. Ces molécules sont considérées comme préoccupantes par la réglementation internationale qui en a dressé une liste nominative dans le cadre du Protocole d'Aarhus et la Convention de Stockholm en 1998. Parmi ces molécules figurent des pesticides (DDT, Hexachlorobenzène, Lindane, Endrine, Aldrine...) mais également des substances involontairement produites lors de processus de combustion incomplète de matière organique, comme les dioxines (PCDD¹) et les furannes (PCDF²), qui proviennent principalement de l'incinération des déchets, et les HAP³, qui sont principalement issus de la combustion de bois en zone urbaine et du transport

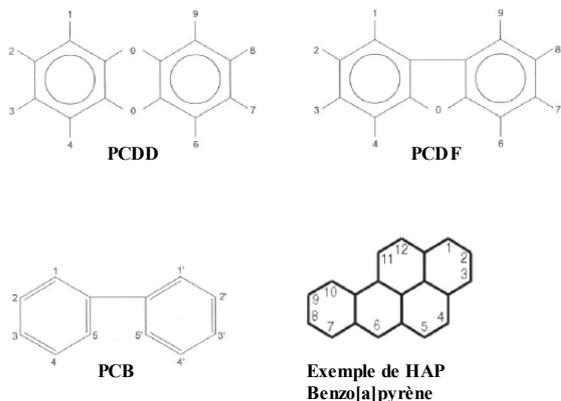
¹ PCDD : PolyChloroDibenzo-para-Dioxines

² PCDF : PolyChloroDibenzo-Furanes

³ HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

roucier. Figurent également dans cette liste des produits industriels comme les PCB⁴.

Figure 1. Structure des PCDD/F^{1,2}, PCB⁴ et HAP³



Les PCDD/F regroupent 210 composés dont 17 sont plus couramment étudiés car considérés comme les plus toxiques. Ils diffèrent les uns des autres par le nombre (au moins 4 en position 2,3,7,8) et la position des atomes de Cl sur les deux noyaux benzéniques. Les PCB appartiennent à une famille de 209 congénères qui diffèrent entre eux par la position et le nombre d'atomes de Cl (1 à 10) associés à deux groupes phényle. Deux groupes, l'un de 12 DL PCB⁴ et l'autre de sept NDL PCB⁴, considérés comme représentatifs de la famille, sont identifiés par l'Union Européenne. Les HAP sont constitués exclusivement d'atomes de C et de H organisés sous forme de cycles aromatiques. Seize congénères sont considérés comme prioritaires. Ils diffèrent par le nombre (2 à 6) et l'arrangement spatial des cycles.

La production et l'usage de certains de ces POP sont interdits depuis de nombreuses années (pesticides organochlorés, PCB). Pourtant, on estime que seuls 4% des PCB produits avant 1985 seraient détruits, 30% seraient dispersés dans l'environnement et le reste serait encore en service (Garban et al., 2002 cité par Rychen et al., 2005). Les émissions de PCDD/F ont été considérablement réduites (-80% ces quinze dernières années en France) pour atteindre 310 g I-TEQ⁵ / an. Les émissions de HAP, qui atteignent 35 t annuelles en France, ont été réduites de 20% depuis 1990 (CITEPA, 2006). Le rapport d'expertise collective « Pesticides, agriculture et environnement » (INRA-Cemagref, 2005) souligne la carence de

⁴ PCB : PolyChloroBiphényles. On distingue les DL PCB (dioxin-like PCB) qui présentent des propriétés proches de celles des dioxines et les NDL PCB (non dioxin-like PCB)

⁵ I-TEQ, indicateur de la toxicité d'un mélange. Il est la somme pondérée des TEF attribués à chacun des composés présents dans le mélange. Un TEF est attribué à chaque molécule d'une même famille en comparant la courbe représentant la relation dose-réponse obtenue à celle obtenue avec la molécule de référence considérée comme la plus toxique de la famille (pour les PCDD/F, la molécule de référence est la TCDD avec un TEF de 1)

surveillance de la qualité des sols en matière de contamination par les pesticides et les molécules organiques en général, en partie en raison de la multitude des molécules et des coûts analytiques. Cependant, les données disponibles témoignent d'une contamination des eaux, de l'air et du sol dans la plupart des régions françaises et européennes. Dans les sols, la teneur en PCB est de 10-40 µg / kg, mais peut atteindre 300 mg / kg dans certains sites contaminés (Pu et al., 2006). On relève des valeurs de 0,02 à 60 ng I-TEQ PCDD/F (Thébault, 2005) et de 400 à 1400 µg HAP / kg sol (Crépineau-Ducolombier et Rychen, 2003). Thébault (2005) indique qu'un sol contenant plus de 5 ng I-TEQ PCDD/F / kg MS mérite la surveillance des denrées qui y sont produites. Le seuil de 1 mg de HAP / kg de sol est considéré comme préoccupant.

2. PRESENCE D'ELEMENTS TRACES METALLIQUES ET DE POLLUANTS ORGANIQUES PERSISTANTS DANS LES PRODUITS AVICOLES ET MODALITES DE TRANSFERT

2.1. Eléments traces métalliques

2.1.1 Présence d'éléments traces métalliques dans les produits avicoles

La réglementation européenne (Règlement CE 466/2001 modifié) établit des limites maximales de Cd et Pb dans certaines denrées alimentaires d'origine animale et de Hg dans la chair de poisson (Tableau 1). De tels maxima n'existent pas pour l'arsenic. La plupart des produits avicoles collectés lors d'enquêtes menées dans toute l'Union Européenne présentent des teneurs en Cd et Pb très inférieures aux limites réglementaires (EC, 2004). La teneur en As des aliments issus de la chaîne alimentaire terrestre n'est que très peu renseignée. La réglementation des teneurs maximales autorisées dans les matières premières et aliments pour animaux (Règlement CE 32/2002 modifié) favorise le maintien de faibles teneurs dans les denrées alimentaires d'origine animale. Toutefois, des échantillons d'abats contenant 4 mg de Pb et 3 mg de Cd, des échantillons de viande contenant jusqu'à 0,4 mg de Pb et 0,8 mg de Cd et des œufs contenant 0,26 mg de Pb / kg ont été collectés (EC, 2004). Dobrzanski et al. (1999) ont collecté des œufs de poules élevées en plein air contenant jusqu'à 0,12 mg Pb / kg. Aucun élément ne permet de déterminer si ces niveaux ont pour origine la contamination de l'environnement de l'animal ou celle, accidentelle, de son alimentation.

2.1.2 Modalités de transfert des ETM ingérés vers les produits avicoles

Bien que moins tolérants que les mammifères, les oiseaux peuvent être exposés à des doses alimentaires de Pb et Cd très supérieures à la réglementation (5 mg Pb et 0,5 mg Cd / kg d'aliment complet – Règlement CE 32/2002 modifié) sans abaissement des

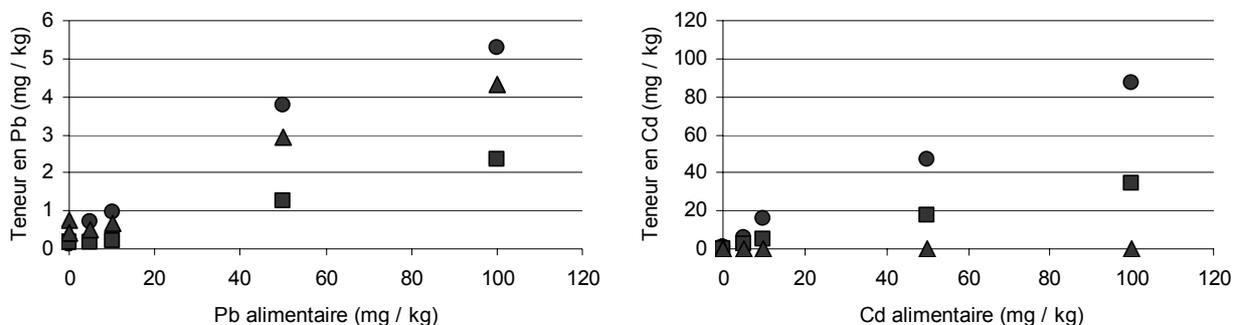
performances de croissance ou de ponte (Nezel et Vogt, 1976 ; Di Giulio and Scanlon, 1984). La majeure partie de Pb et de Cd ingérés sont rejetés via les fèces dont une partie via la bile. Ils s'accumulent préférentiellement dans le rein et le foie avec une affinité de l'ordre de 15 fois plus élevée pour le Cd que pour le Pb (Di Giulio et Scanlon, 1984) (Figure 2). De plus, leur transfert est de l'ordre de trois fois plus important vers le rein que vers le foie. Ce phénomène limite le transfert de ces métaux vers le foie, seul abat consommé chez les volailles. Le plomb s'accumule également dans l'os, par co-précipitation

avec le calcium. La faible affinité de l'os pour le cadmium explique en partie la plus grande concentration de cet élément dans le rein et le foie. Aucun de ces éléments n'est transféré de façon significative vers l'œuf. L'œuf est protégé de toute contamination par le cadmium qui est séquestré dans la paroi ovarienne via la synthèse de métallothionéines (Sell, 1975 ; Sato et al., 1996 ; 1997). Le plomb peut être transféré vers le jaune d'œuf, mais les teneurs restent faibles. Une partie du plomb ingéré est également transférée vers la coquille de l'œuf (Mazliah et al., 1989 ; Jeng et al., 1997).

Tableau 1. Teneurs maximales en Pb, Cd, PCDD/F et DL PCB et benzo[a]pyrène dans certaines denrées alimentaires d'origine animale (Règlement CE n°466/2001 modifié)

	Pb mg / kg frais	Cd mg / kg frais	PCDD/F pg OMS-PCDD/F- TEQ / g MG	PCDD/F et DL PCB pg OMS-PCDD/F- PCB-TEQ / g MG	Benzo[a]pyrène µg / kg frais
Viande	0,1	0,05	2,0	4,0	
Abats	0,5				
Foie		0,5	6,0	12,0	
Reins		1,0			
Œufs et ovoproduits			3,0	6,0	
Graisse de volaille			2,0	4,0	2,0

Figure 2. Teneur en Pb et Cd du foie (■), du rein (●) et de l'os (▲) chez des canards exposés pendant six semaines à des aliments contenant des doses variables de Pb et Cd sous forme de chlorure (d'après Di Giulio et Scanlon, 1984)



La teneur en ETM des produits avicoles comestibles dépend non seulement de la dose et de la durée d'exposition à laquelle l'animal est soumis, mais également de la spéciation de l'élément. Elle dépend également du statut de l'animal en d'autres éléments, comme le zinc ou le fer. Ces deux éléments interagissant avec le métabolisme phosphocalcique, toute déficience en Ca en augmente la disponibilité (Kan, 1994 ; Bakalli et al., 1995). Les données disponibles dans la littérature ne permettent pas l'établissement de modèles d'estimation des relations entre dose d'exposition x durée d'exposition et contamination des produits. Cependant, il semble que les limites maximales réglementaires ne soient atteintes que pour des doses et des temps d'exposition

assez élevés, et peu probables dans le cas d'ingestion de sol modérément contaminé, mais n'est pas exclue dans le cas de zones très contaminées, situées à proximité d'un ancien site minier, par exemple. La limite de 0,5 mg Pb / kg foie n'est pas dépassée chez des poules pondeuses recevant 80 mg de Pb sous forme d'acétate / kg d'aliment pendant 26 semaines (Nezel et Vogt, 1976). En revanche, des poulets recevant la même dose de Pb pendant sept semaines produisent des foies contenant 0,7 mg Pb / kg (Nezel et Vogt, 1976) ou des canards recevant pendant six semaines des aliments contenant 50 ou 100 mg Pb sous forme de chlorure / kg contiennent 1,2 et 2,4 mg Pb / kg (Di Giulio et Scanlon, 1984). L'exposition de canards pendant six semaines à un aliment contenant

10 mg de Cd sous forme de chlorure entraîne une teneur dans le foie de 4,7 mg / kg qui atteint 34,2 mg / kg lorsque l'aliment contient 100 mg Cd / kg (Di Giulio et Scanlon, 1984). La concentration de Pb dans la partie comestible de l'œuf ne dépasse pas 0,04 mg / kg lorsque l'exposition de poules est de 80 mg Pb sous forme d'acétate / kg d'aliment pendant 26 semaines (Nezel et Vogt, 1976) mais a atteint 1 mg / kg chez des poules pondeuses exposées pendant trois années à une dose quotidienne de 200 mg Pb sous forme d'acétate (Mazliah et al., 1989) ou 0,4 mg / kg chez des poules en contact avec une peinture contenant du Pb (Trampel et al., 2003).

Le risque de contamination des produits avicoles par les ETM présents dans le sol concerne donc principalement le foie, pour des sols présentant un niveau de contamination assez élevé. Cependant, l'effet de la spéciation⁶ de ces éléments reste inconnu.

2.2. Polluants organiques persistants

2.2.1 Présence de polluants organiques persistants dans les produits avicoles

De façon générale on considère que plus la molécule est lipophile (ou hydrophobe) plus le risque d'accumulation dans la chaîne trophique est important. Cette propriété est estimée par le coefficient de partage de la substance entre une phase organique (octanol) et une phase aqueuse. La réglementation sur les pesticides prévoit l'évaluation de la bioconcentration d'un composé à partir d'une valeur seuil de K_{ow} ⁷ de 1000 soit un log K_{ow} de 3. C'est le cas des PCDD/F, PCB et HAP, avec toutefois des différences entre congénères de la même famille. De façon générale, plus le composé est chloré, plus il est lipophile. Pour les HAP, l'hydrophobicité augmente avec le nombre de cycles. La réglementation européenne impose un maximum de 2, 3 et 6 pg I-TEQ PCDD/F / g MG⁸ dans respectivement la viande et la graisse, les œufs et le foie de volaille. Ces valeurs sont doublées lorsque les DL PCB⁴ sont inclus (Tableau 1). Il n'existe pas de maximum légal européen de teneur en NDL PCB⁴ dans les œufs. A titre indicatif, la réglementation belge impose une limite dans l'œuf de 200 ng NDL PCB I-TEQ/ g MG. Ces valeurs ont largement été dépassées au moment de la crise belge en 1999 avec des teneurs dans les œufs atteignant 46 µg I-TEQ NDL PCB/g MG et de 32 pg I-TEQ PCDD/F/ g MG (Bernard et al., 2002 ; Esteve-Garcia et Garcia-Regueiro, 2005). Mais la grande majorité des produits avicoles présente des teneurs en PCDD/F et PCB très inférieures aux limites réglementaires. Des œufs issus de poules élevées en bâtiment, sans contact avec le

milieu extérieur, contiennent 1 à 22 ng I-TEQ NDL PCB / g MG (EFSA, 2005) et moins de 1 pg I-TEQ PCDD/F / g MG (Thébault, 2005).

Cependant, des enquêtes menées dans différents pays européens (Belgique, Suisse, Allemagne, Irlande, France, Suède, Royaume Uni) révèlent la contamination par ces composés d'œufs de poules ayant accès à l'extérieur. Les autres produits avicoles étant moins aisés à collecter que les œufs, ces enquêtes ne font pas mention de leur état de contamination dans des conditions environnementales similaires. L'ingestion de sol et de pédofaune par les poules est avancée comme le principal facteur explicatif de la contamination des œufs. Sur des sols clairement contaminés, en zone urbaine ou industrielle, des œufs excédant largement les 3 pg I-TEQ PCDD/F / g MG ont été collectés (Schuler et al., 1997 ; Harnly et al., 2000 ; Pussemier et al., 2004 ; Kan, 2005). Thébault (2005) rapporte des teneurs allant de 3 à 122 pg I-TEQ PCDD/F / g MG pour des œufs issus d'élevages de particuliers dans des zones réputées contaminées par un incinérateur. Mais des enquêtes portant sur des élevages de type biologique menées aux Pays-Bas et Belgique ont montré que 13% des œufs collectés dans 26% des élevages enquêtés dépassaient la limite réglementaire de 3 pg I-TEQ PCDD/F / g MG, suggérant une possible contamination y compris dans des zones rurales, *a priori* assez peu contaminées (De Vries et al., 2006). Aucune donnée sur la présence de HAP dans les produits avicoles n'est disponible dans la littérature (Kan et Meijer, 2007). Cependant, les travaux de Cavret et al. (2003) montrent que certains de ces composés sont capables de franchir la barrière intestinale. Par ailleurs, certains d'entre eux sont retrouvés dans les œufs d'oiseaux de mer (Shore et al., 1999).

2.2.2 Modalités de transfert des POP ingérés vers les produits avicoles

La plupart des études ont porté sur le transfert des PCDD/F et PCB de l'aliment vers les produits animaux. Après absorption, PCDD/F et PCB sont dirigés vers le foie, mais peu de ces molécules y sont métabolisées. Elles sont ensuite distribuées entre différents organes et tissus. Avec le temps, les concentrations et des profils de congénères (sur la base de la matière grasse) dans tous les tissus (gras abdominal, sérum, œufs, blanc) tendent à s'égaliser pour aboutir à la phase stationnaire. Les paramètres nécessaires à l'évaluation du risque, tels que facteur de transfert⁹, coefficient de bioaccumulation¹⁰ et

⁶ La spéciation des métaux correspond aux différentes formes chimiques sous lesquelles on peut les rencontrer.

⁷ K_{ow} , coefficient de partition octanol-eau : rapport de concentration d'une substance présente dans deux milieux non solubles l'un dans l'autre.

⁸ MG, matière grasse.

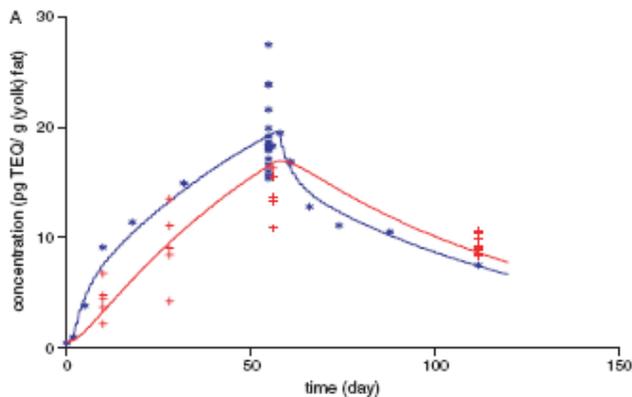
⁹ Facteur de transfert : rapport entre quantité excrétée dans le produit par jour et la quantité quotidienne ingérée (exprimé en pourcentage)

¹⁰ Coefficient de bioaccumulation : rapport entre la concentration dans un tissu et la dose ingérée par jour ramenée au poids vif de l'animal

facteur de bioconcentration¹¹ doivent être calculés lorsque l'état d'équilibre est atteint. Cet état d'équilibre apparaît après un délai assez long : les teneurs de l'œuf et du tissu adipeux augmentent encore après 56 jours d'exposition à un aliment contaminé avec des PCDD/F et DL PCB (Hoogenboom et al., 2006). Elles se stabilisent après 70 jours avec des aliments contenant des NDL PCB (De Vos et al., 2005). On estime que, selon le congénère, 5 à 50% des PCDD/F et PCB ingérés sont transférés vers l'œuf, 7 à 54% sont stockés dans le gras corporel et moins de 1% dans le foie (Stephens et al., 1995 ; Kan et Meijer, 2007). Souvent, la valeur standard de 25% d'excrétion via les œufs est utilisée. Cependant, ces valeurs sont probablement sous-estimées car les durées d'expérimentation sont souvent inférieures au délai requis pour atteindre l'état d'équilibre.

Les cinétiques de stockage et déstockage de ces composés varient selon que les animaux sont en croissance ou en ponte. Chez le poulet en croissance, la quantité de PCDD/F (Iben et al., 2003) et PCB (Maervoet et al., 2004) présente dans les tissus est directement proportionnelle à la quantité de contaminant ingéré. En cas de retrait de l'aliment contaminé, la teneur en polluant diminue uniquement par dilution en raison de la croissance corporelle de l'animal, car aucune excrétion via l'urine des PCDD/F ou PCB stockés n'est possible (Iben et al., 2003). Chez la poule, au contraire, les œufs représentent une voie d'excrétion majeure des POP ingérés.

Figure 3. Cinétique de contamination et de décontamination des œufs (*, ligne supérieure) et du gras abdominal (+, ligne inférieure) chez des poules ayant reçu un aliment contenant 1,85 ng TEQ PCDD/F / kg pendant 56 jours (van Eijkeren et al., 2006)



Le modèle mathématique développé par Van Eijkeren et al. (2006) montre que le gras corporel joue un rôle

¹¹ Facteur de bioconcentration : rapport entre la teneur dans un tissu et la teneur dans l'aliment

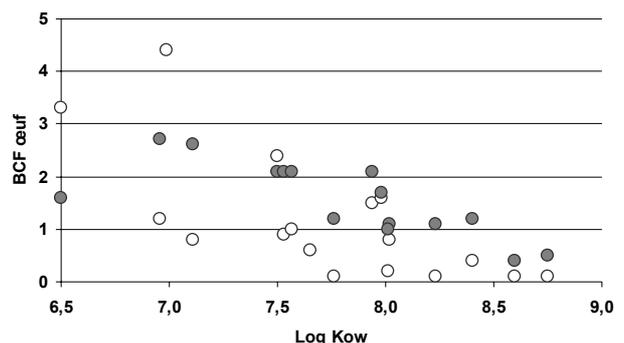
de stockage de grande capacité (Figure 3). Ses cinétiques de contamination et de décontamination sont plus lentes que celles de l'œuf et l'état stationnaire y est atteint plus lentement. La décontamination de l'œuf est biphasique, avec une phase rapide (demi vie de 2,5 jours) et une phase lente (demi-vie de 50 jours). La première est liée au processus de formation du jaune d'œuf qui prend 10 jours environ : les œufs pondus lors des premiers jours suivant l'arrêt de la contamination ont déjà incorporé une partie des contaminants. La seconde phase correspond à la décontamination progressive du tissu gras dont l'œuf est l'exutoire.

Sur la base de ce modèle, les auteurs calculent que l'ingestion d'un aliment conforme à la réglementation (0,75 pg ITEQ PCDD/F / g, règlement CE 32/2002 modifié) conduirait à des œufs contenant 13 pg ITEQ PCDD/F / g MG à l'équilibre, soit une valeur de l'ordre de quatre fois supérieure à la réglementation de 3 pg ITEQ PCDD/F / g MG (Règlement CE n°466/2001 modifié). Pour assurer une teneur conforme dans les œufs, la limite dans les aliments pour animaux ne devrait pas dépasser 0,17 pg TEQ PCDD/F / g aliment.

Ces estimations correspondent à une exportation donnée de matière grasse par les œufs. Toute détérioration de l'intensité de ponte ou de l'indice de consommation contribue à augmenter la concentration des contaminants dans les produits consommables.

Le modèle proposé par Van Eijkeren et al. (2006) est très utile pour calculer le transfert d'un mélange donné de PCDD/F vers l'œuf mais il n'a pas été mis à l'épreuve de l'estimation du transfert de chaque congénère individuellement. Or, le transfert des PCDD/F et de la plupart des PCB vers l'œuf diminue lorsque le degré de chloration augmente (ou lorsque log Kow augmente) (Figure 4). Dans ce cas, le calcul du transfert de TEQ est fonction non seulement du niveau mais également du profil de la contamination. L'emploi des TEQ est donc très utile pour estimer la valeur toxique du mélange présent dans une denrée alimentaire mais il pourrait s'avérer trop global pour étudier le transfert d'un mélange vers les produits animaux.

Figure 4. Relation entre l'hydrophobicité (Log Kow) et leur facteur de bioconcentration des PCDD/F dans l'œuf (d'après Schuler et al. (1997) ○ et Pirard et De Pauw (2005) ●)



De plus, contrairement aux ETM, certains de ces POP sont susceptibles d'être biotransformés par les organismes supérieurs. Ce phénomène est une voie de défense de l'organisme qui consiste à transformer les molécules hydrophobes en molécules plus hydrophiles qui pourront être éliminées via l'urine. Le premier site de métabolisation est l'entérocyte, mais la majorité de ces transformations ont lieu dans l'hépatocyte. Cette biotransformation explique le faible transfert vers l'œuf des NDL PCB 52 et 101 par rapport à leur degré d'hydrophobicité (Maervoet et al., 2004 ; De Vos et al., 2005).

Ce phénomène pourrait intervenir de manière prépondérante dans le taux de transfert des HAP vers les produits avicoles, en particulier l'œuf. En effet, l'administration d'un sol contaminé avec des HAP à des vaches laitières pendant 28 jours n'augmente pas la concentration de molécules mères dans le lait mais celle des métabolites hydroxylés (Lutz et al., 2006), suggérant la biotransformation de ces composés. La capacité à la biotransformation étant très spécifique, il est impossible de transposer les résultats de ces études à l'oiseau. Cependant, si ces molécules étaient majoritairement hydroxylées, elles pourraient être transférées vers le blanc d'œuf, contrairement aux molécules les plus lipophiles. Dans ce cas, compte tenu de la courte durée de la formation du blanc (de l'ordre de 24 heures) par rapport la durée de grand accroissement du jaune (de l'ordre de 10 jours), les taux et cinétiques de transfert vers l'œuf pourraient être substantiellement modifiés.

Tous les produits avicoles sont donc susceptibles de contenir des quantités substantielles de PCDD/F et PCB, alors qu'aucune donnée ne permet de statuer sur leur possible contamination par les HAP. Les données disponibles et les modèles développés permettent d'estimer la contamination des produits avicoles par les PCDD/F et PCB pour un niveau d'absorption intestinale donné. Pour l'heure, il n'est pas possible d'établir de relation entre le niveau de contamination du sol en PCDD/F et celle des produits avicoles. Cette carence pourrait être due à la variabilité de l'ingestion de matrice (sol) contaminée et à la méconnaissance de l'effet de la matrice sol sur la disponibilité de ces composés.

3. SPECIFICITES DE LA MATRICE SOL

En plus des éléments précédemment décrits, la connaissance de la quantité de sol ingérée et celle du degré de mobilisation du contaminant dans le tube digestif, défini comme la bioaccessibilité, sont indispensables à l'évaluation du transfert des contaminants du sol vers les produits avicoles.

3.1. Quantité de sol ingérée

Les animaux élevés en plein air sont susceptibles d'ingérer du sol ou de petits organismes vivants (lombrics, insectes), soit de manière volontaire, en picorant du sol, soit de manière involontaire en

ingérant des aliments déposés à même le sol. La quantité de sol ingérée pourrait être un facteur de variation important de la contamination des produits animaux par les contaminants du sol. L'ingestion d'organismes tels que les lombrics qui peuvent accumuler les dioxines et le cadmium jusqu'à des niveaux atteignant respectivement cinq et vingt fois la concentration du sol (Reinecke et Nash, 1984 ; Stoewsand et al., 1986) ou d'insectes qui apporteraient des dioxines significativement plus disponibles que les dioxines présentes dans le sol (Nosek et al., 1992) favoriseraient également le transfert vers les produits animaux (De Vries et al., 2006). Stephens et al. (1995) estiment que 10% de la quantité de matière sèche ingérée par des poules pondeuses élevées en plein air est représentée par du sol. Selon Kan et al. (2005) des poules peuvent ingérer des granulés contenant jusqu'à 30% de sable, sans modification des performances, grâce à l'ajustement des quantités ingérées. Le temps de séjour à l'extérieur, la densité d'élevage, qui pourrait favoriser le transfert des contaminants du sol en augmentant le contact des animaux avec un sol nu ou au contraire le diminuer en réduisant l'abondance de pédofaune (Schuler et al., 1997), le déséquilibre alimentaire protéique ou minéral, sont autant de facteurs d'élevage susceptibles de modifier la quantité de matrice (sol ou pédofaune) volontairement ingérée par les animaux. Cependant leurs effets ne sont pas évalués, ce qui compromet notre capacité à évaluer le risque de transfert.

3.2. Bioaccessibilité

La fraction de contaminant solubilisée dans le tube digestif est la fraction bioaccessible. Elle représente la fraction maximale potentiellement absorbable. La plupart du temps, on considère que la dissolution est plus lente que l'absorption et, par conséquent, que la bioaccessibilité est le facteur déterminant de la disponibilité.

Les études menées sur les aliments ne peuvent pas être directement utilisées pour estimer le transfert de contaminant du sol. En effet, après leur dépôt, les contaminants interagissent avec les particules du sol et subissent un processus de maturation qui consiste principalement en des phénomènes d'adsorption mais également de piégeage dans les micropores du sol ou la matière organique (Reid et al., 2000). Par exemple, du plomb déposé sur du sol sous forme d'acétate très soluble sera rapidement incorporé dans les minéraux du sol et sera donc moins accessible (Ruby et al., 1999). Cette maturation, en conduisant au transfert des contaminants de compartiments accessibles vers des compartiments moins accessibles, contribue à la limitation de leur disponibilité pour l'animal. Van Eijkeren et al. (2006) estiment que l'accessibilité des PCDD/F et DL PCB présents dans le sol est inférieure de 40% à celle des contaminants présents dans l'aliment. Si la limite dans les aliments pour animaux est de 0,17 pg TEQ PCDD/F / g aliment et que la

consommation de sol est d'environ 10% de la ration, alors un sol contenant plus de 3 pg ITEQ PCDD/F / g conduirait à des œufs non conformes à la réglementation. Cette teneur serait réduite à 1 pg ITEQ PCDD/F / g dans le cas d'une consommation de 30% de sol. Ces valeurs sont de l'ordre du seuil de 5 pg I-TEQ PCDD/F / g MS de sol à partir duquel les denrées produites devraient être surveillées (Thébault, 2005). Mais elles constituent des estimations moyennes alors que la nature et l'importance des interactions entre sol et contaminant dépendent des propriétés du sol et de celles de la molécule.

3.2.1 Propriétés du sol

La teneur en matière organique d'un sol, qui gouverne la taille du compartiment non mobilisable, est citée comme le principal facteur de variation de l'accessibilité (Reid et al., 2000). Mais d'autres éléments comme la taille des particules et la teneur en argiles, qui présentent une grande surface de contact, ont aussi une influence. *In vitro*, l'accessibilité des PCB 118 (40 à 63%) et PCB 52 (56 à 79%) (Pu et al., 2006) et celle du phénanthrène (53 à 89%) (Pu et al., 2004) diminuent avec l'augmentation de la teneur en matière organique et en argile des sols. Avec un test *in vitro* similaire, Oomen et al. (2004) ont montré que l'accessibilité du benzo[a]pyrène est environ deux fois supérieure dans un sol sableux que dans un sol riche en matière organique.

3.2.2 Propriétés du contaminant

Plus la molécule est hydrophobe, plus l'adsorption par la matière organique du sol est élevée et moins la molécule est accessible. Ce phénomène a été observé pour des HAP dont l'accessibilité *in vitro* diminue lorsque le nombre de cycles, auquel est proportionnel le Kow, augmente avec des valeurs de 70% pour le fluorène (Log Kow = 4,18) à une valeur proche de 0 pour le benzo[a]pyrène (Log Kow = 6,50) (Tang et al., 2006). Pu et al. (2006) ont observé une moindre accessibilité *in vitro* du PCB 118 (log Kow = 6,74) que du PCB 52 (Log Kow = 6,09). De même pour les métaux, la spéciation est déterminante sur l'accessibilité. Les phases minérales formées en conditions acides (sulfates) sont stables dans les conditions stomacales acides et donc peu accessibles. Au contraire, les phases formées en conditions alcalines (carbonates, oxydes) y sont moins stables et donc plus accessibles.

3.2.3 Propriétés de l'hôte

La plupart des études visant à mesurer l'accessibilité des contaminants du sol avait pour objet l'évaluation

du risque lié à l'ingestion de sol par l'Homme et plus spécifiquement l'enfant. Les modèles *in vivo* sont donc des mammifères (rat, porc) et les paramètres des modèles *in vitro* cherchent à mimer les conditions trouvées dans le tube digestif de l'homme. Lors de tests *in vitro* l'utilisation de sels biliaires de poulet plutôt que de porc a permis une extraction de Pb et de Cd d'une matrice sol de l'ordre de 1,5 à 5,5 fois supérieure. L'effet sur l'extraction de benzo[a]pyrène était négligeable (Oomen et al., 2004). Le pH gastrique étant déterminant sur l'extraction des métaux de la matrice sol (Ruby et al., 1999), il est probable que l'accessibilité des ETM chez les oiseaux soit supérieure à celle qu'on mesure chez les mammifères, comme le porc. Cette observation est en accord avec la moindre tolérance des oiseaux aux ETM. Il est donc hasardeux de transposer les résultats précédemment cités directement à l'oiseau, même si les grandes lois sont encore vraisemblablement valables.

CONCLUSION

Parmi les contaminants d'origine anthropique présents dans les sols, les ETM, notamment Pb et Cd, présentent un risque de transfert vers le foie chez des animaux élevés sur des sols très contaminés. Le transfert vers l'œuf est quasiment nul. Au contraire, le risque de transfert vers les produits avicoles des POP, notamment les composés chlorés, est avéré, y compris chez des animaux élevés sur des sols très modérément contaminés. Les données actuellement disponibles, notamment les modèles mathématiques développés, permettent d'estimer globalement le taux de transfert de ces produits de l'ingéré vers les produits consommables. Ils devraient permettre d'évaluer assez facilement l'impact du niveau de production sur le niveau de contamination des produits. Cependant, dans le cas précis de la contamination des produits via l'ingestion de sol, la connaissance des facteurs de variation de la quantité de sol ingérée et de l'accessibilité des contaminants dans cette matrice restent à déterminer. Ce niveau de connaissance n'est atteint que pour les PCDD/F et PCB, molécules très lipophiles et peu métabolisées. Le risque de transfert de molécules potentiellement plus sensibles à la métabolisation, comme les HAP, reste inconnu chez les oiseaux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bakalli R.I., Pesti G.M., Ragland W.L., 1995. *Vet. Hum. Toxicol.*, 37, 15-19.
Bernard A., Broeckaert F., De Poorter G., De Cock A., Hermans C., Saegerman C., Houins G., 2002. *Environ. Res.*, 88, 1-18.
Cavret S., Laurent C., Feidt C., Laurent F., Rychen G., 2003. *Reprod. Nutr. Dev.*, 43, 145-154.

- CITEPA, 2006. Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique, avril 2006.
<http://www.citepa.org/emissions/nationale>
- Crépineau-Ducolombier C., Rychen G., 2003. *Agronomie*, 23, 345-348.
- De Vos S., Verschuere D., De Schrijver R., 2005. *Chemosphere*, 58, 1553-1562.
- De Vries M., Kwakkel R.P., Kijlstra A., 2006. *NJAS*, 54, 207-2006.
- Di Giulio R.T., Scanlon P.F., 1984. *Sci. Tot. Environ.*, 39, 103-110.
- Dobrzanski Z., Gorecka H., Trziszka T., Gorecki H., 1999. In: Proc. VIIIth European Symp. on the Quality of Eggs and Egg-products (Cavalchini L.G., Baroli D., eds), Bologna, Italy, pp. 283-285.
- EC, 2004. Assessment of the dietary exposure to arsenic, cadmium, lead and mercury of the population of the EU Member States, European Commission, DG Health and Consumer Protection, March 2004, 125 p.
- EFSA, 2005. Opinion of the scientific panel on contaminants in the food chain on a request from the Commission related to the presence on non dioxin-like polychlorinated biphenyls (PCB) in feed and food. Question N°EFSA-Q-2003-114. European Food Safety Authority, *The EFSA Journal*, 284, 1-137.
- Esteve-Garcia E., Garcia-Regueiro J.A., 2005. In: Proc. XIth European Symp. on the Quality of Eggs and Egg-products. Doorwerth, 23-26 May 2005, The Netherlands, N° 236, 9 pp.
- Harnly M.E., Petreas M.X., Flattery J., Goldman L.R., 2000. *Environ. Sci. Technol.*, 34, 1143-1149.
- Hoogenboom L.A.P., Kan C.A., Zeilmaker M.J., Van Eijkeren J., Traag W.A., 2006. *Food Add. Contam.*, 23, 518-527.
- INRA-Cemagref, 2005.
http://www.inra.fr/l_institut/missions_et_strategie/les_missions_de_l_inra/eclairer_les_decisions/pesticides_agriculture_et_environnement
- Jeng S.L., Lee S.J., Liu Y.F., Yang S.C., Liou P.P., 1997. *Poult. Sci.*, 76, 13-16.
- Kan C.A., 1994. *World's Poult. Sci. J.*, 50, 39-53.
- Kan K., 2005. In: Proc. XIth European Symp. on the Quality of Eggs and Egg-products. Doorwerth, 23-26 May 2005, The Netherlands, N°210, 8 pp.
- Kan C.A., Meijer G.A.L., 2007. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 133, 84-108.
- KTBL, 2005. Assessment and reduction of heavy metals input into agro-systems. Final report of the EU-Concerted Action AROMIS. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft – Schrift 432, Darmstadt, Germany, 232 p.
- Lutz S., Feidt C., Monteau F., Rychen G., 2006. *J. Food Agric. Chem.*, 54, 263-268.
- Mazliah J., Barron S., Bental E., Reznik I., 1989. *Avian Diseases* 33, 566-570.
- Nezel K., Vogt H., 1976. *Archiv. Geflügelkde*, 40, 188-192.
- Nosek J.A., Craven S.R., Sullivan J.R., Olson J.R., Peterson R.E., 1992. *J. Toxicol. Environ. Health*, 35, 153-164.
- Oomen A.G., Rompelberg C.J.M., Van de Kamp E., Pereboom D.P.K.H., De Zwart L.L., Sips A.J.A.M., 2004. *Archiv. Environ. Contam. Toxicol.*, 46, 183-188.
- Pirard C., De Pauw E., 2005. *Environ. Intern.*, 31, 585-591.
- Pu X., Lee L.S., Galinsky R.E., Carlson G.P., 2004. *Toxicol. Sci.*, 79, 10-17.
- Pu X., Lee L.S., Galinsky R.E., Carlson G.P., 2006. *Toxicology*, 217, 14-21.
- Pussemier L., Mohimont L., Huyghebaert A., Goeyens L., 2004. *Talanta*, 63, 1273-1276.
- Reid B.J., Jones K.C., Semple K.T., 2000. *Environ. Pollut.*, 108, 103-112.
- Reinecke A., Nash R., 1984. *Soil Biol. Biochem.*, 16, 45-49.
- Ruby M.V., Schoof R., Brattin W., Goldade M., Post G., Harnois M., Mosby E., Casteel S.W., Berti W., Carpenter M., Edwards D., Cragin D., Chappell W., 1999. *Environ. Sci. Technol.*, 33, 3697-3705.
- Rychen G., Crépineau-Ducolombier C., Grova N., Jurjanz S., Feidt C., 2005. *INRA Prod. Anim.*, 18, 355-366.
- Sato S., Okabe M., Emoto T., Kurasaki M., Kojima Y., 1997. *J. Toxicol. Environ. Health*, A, 51, 15-22.
- Sato S., Okabe M., Kurasaki M., Kojima Y., 1996. *Life Sci.*, 58, 1561-1567.
- Schuler F., Schmid P., Schlatter C., 1997. *Chemosphere*, 34, 711-718.
- Sell J.L., 1975. *Poult. Sci.*, 54, 1674-1678.
- Shore R.F., Wright J., Horne J.A., Sparks T.H., 1999. *Marine Poll. Bull.*, 38, 509-513.
- Stephens R.D., Petreas M.X., Hayward D.G., 1995. *Sci. Tot. Environ.*, 175, 253-273.
- Stoewsand G.S., Bache C.A., Gutenmann W.H., Lisk D.J., 1986. *J. Toxicol. Environ. Health*, 18, 369-376.
- Tang X.Y., Tang L., Zhu Y.G., Xing B.S., Duan J., Zheng M.H., 2006. *Environ. Pollut.*, 140, 279-285.
- Thébault A., 2005. Analyse des déterminants de la contamination en dioxines et furanes (PCB non compris) des oeufs issus d'élevages de volailles en plein air de particuliers. Note technique AQR/ATH/2005-203, AFSSA, 27 septembre 2005, 17 p. <http://www.afssa.fr/ftp/afssa/34636-34637.pdf>
- Trampel D.W., Imerman P.M., Carson T.L., Kinker J.A., Ensley S.M., 2003. *J. Vet. Diagnost. Invest.*, 15, 418-422.
- Van Eijkeren J.C.H., Zeilmaker M.J., Kan C.A., Traag W.A., Hoogenboom L.A.P., 2006. *Food Add. Contam.*, 23, 509-517.

INFLUENCE DE LA TENEUR EN PROTEINES DE L'ALIMENT SUR L'UTILISATION METABOLIQUE DE L'ENERGIE CHEZ LE POULET

Noblet Jean¹, Dubois Serge¹, van Milgen Jaap¹, Warpechowski Marson², Le Bellego Laurent³, Carré Bernard⁴

¹INRA, UMR1079 Systèmes d'Elevage Nutrition Animale et Humaine, F35590 SAINT GILLES,

²Universidade Federal do Paraná, Departamento de Zootecnia, CURITIBA (Brésil),

³Ajinomoto Eurolysine SAS, 153 rue de Courcelles, 75817 PARIS,

⁴INRA, UR83 Recherches Avicoles, 37380 NOUZILLY

RÉSUMÉ

La valeur énergétique des aliments pour les poulets est généralement appréciée sur la base de leur teneur en énergie métabolisable (EM). L'objectif des essais présentés est de quantifier l'utilisation métabolique de l'EM en énergie nette (EN) pour des aliments dont la teneur en protéines varie (avec des variations inverses de la teneur en amidon) afin d'évaluer l'intérêt d'un système EN pour les volailles. Dans l'essai 1, un niveau normal (N) et un niveau bas (B) en protéines sont comparés alors que dans l'essai 2, le même niveau N et un niveau élevé (H) sont comparés; les écarts de teneurs en protéines entre les niveaux B et N ou N et H sont voisins de 4,7 points. Les mesures sont réalisées sur des groupes de poulets âgés selon les essais de 3 à 6 semaines et élevés dans une cage elle-même introduite dans une chambre respiratoire. La taille de chaque groupe est fonction de l'âge des animaux (15 pour les plus jeunes et 6 pour les plus âgés). Les poulets sont alimentés ad libitum dans l'essai 1 et en repas (6 repas de 30 minutes par jour) dans l'essai 2. Les mesures réalisées sur 7 jours consécutifs pour chaque groupe de poulets permettent de déterminer la teneur en EM de l'aliment, les performances des animaux, leur production de chaleur, les contributions de l'activité physique et de l'effet thermique de l'aliment à la production de chaleur, la nature du gain d'énergie (protéines vs lipides) et la valeur EN de l'aliment. L'augmentation de la teneur en protéines au sein de chaque essai entraîne une augmentation de la vitesse de croissance et de la quantité de protéines fixées alors que la consommation d'aliment est peu modifiée; l'efficacité alimentaire est donc améliorée ($P < 0.05$). La production de chaleur des poulets ainsi que ses composantes ne sont pas modifiées par la variation de la teneur en protéines de l'aliment; le rapport EN/EM est alors indépendant de la teneur en protéines (ou en amidon) de l'aliment. Le coût énergétique de l'activité physique représente environ 10% de l'EM ingérée. Sur la base de ces résultats et dans le cas particulier de la substitution amidon/protéines, on peut conclure que la valeur EM représente une estimation satisfaisante de la valeur énergétique des aliments du poulet de chair.

ABSTRACT

Energy value of poultry feeds is usually estimated according to their metabolizable energy content (ME). The objective of the trials was to quantify the efficiency of utilizing ME for net energy (NE) as a function of dietary crude protein (CP) content (as a substitution for starch) in order to evaluate the possible interest of proposing a NE system for poultry. In trial 1, a normal (N) and a low (L) CP level were compared while in trial 2, the N and a high (H) CP levels were used. The difference in CP content between the L and N and between N and H was about 4.7 points. Measurements were conducted on 3 to 6 weeks old group-housed broilers (8 groups per diet in trial 1, ISA breed; 6 groups per diet in trial 2, Ross breed) kept in a metabolism cage placed in a respiration chamber. The size of the group depended on age of broilers (15 in youngest birds and 6 in oldest birds). Birds were offered feed ad libitum in trial 1 and as six 30-minute meals daily in trial 2. Measurements carried out over 7 consecutive days allowed measurements of performance, determination of the ME content of the diets, total heat production, activity heat production and thermic effect of feed, energy gain and its partition between protein and lipid and NE value of diets. Within each trial, the increased CP level induced higher daily growth and body protein gain without a significant change in feed intake; consequently, feed efficiency was improved at higher CP levels ($P < 0.05$). Heat production and its components were not modified by CP content and the NE/ME ratio remained constant irrespective of the CP content. The energy cost of physical activity represented about 10% of ME intake. On the basis of such results and in the specific case of protein substitution by starch, it can be concluded that ME is a satisfactory estimate of the "true" energy value of feeds for broilers.

INTRODUCTION

La valeur énergétique des aliments pour les volailles est généralement basée sur leur teneur en énergie métabolisable (EM) qui ne prend donc pas en compte les éventuelles différences de rendement d'utilisation de l'EM des nutriments pour leur transformation en énergie nette (EN). La bibliographie met clairement en évidence l'intérêt du concept EN pour accéder à la meilleure estimation de la valeur énergétique "vraie" d'un aliment chez le porc (Noblet et al., 1994) ou chez les espèces polygastriques. Dans le cas des volailles, les études sont assez peu nombreuses et elles ne mettent pas en évidence un avantage net du système EN sur le système EM (Carré et al., 2001). L'objectif du travail présenté est d'évaluer chez le poulet de chair les effets d'une variation de la teneur en protéines de l'aliment (et d'une variation inverse de la teneur en amidon) sur l'utilisation métabolique de l'énergie mesurée par calorimétrie indirecte en chambre respiratoire. Dans un premier essai conduit en 2002, un niveau de protéines normal (N) ou bas (B) ont été comparés; le deuxième essai en 2005 a consisté à comparer le même niveau N à un niveau élevé (H). Des études similaires ont été menées pour évaluer les effets d'une variation des teneurs en matières grasses ou en parois végétales des aliments (Warpechowski et al., 2004; Noblet et al., non publié).

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Dispositifs expérimentaux

Dans l'essai 1, huit groupes de 40 poulets mâles de souche ISA ont reçu, soit l'aliment N (4 groupes), soit l'aliment B (4 groupes), chaque groupe étant mesuré à deux stades (3^{ème} et 6^{ème} semaine d'âge). Les aliments B et N sont granulés et ils diffèrent par leurs teneurs en amidon et en protéines (environ 4,7 points de différence) mais ils apportent des quantités d'acides aminés essentiels correspondant aux besoins et avec le niveau d'acides aminés soufrés comme premier facteur limitant; les teneurs en protéines et en acides aminés sont adaptées à chaque stade (tableau 1). Les mêmes animaux sont mesurés aux 2 stades. Les mesures sont réalisées après au moins 7 jours d'adaptation à l'aliment et l'environnement et les animaux sont alimentés ad libitum. Une période nocturne est appliquée de 2h00 à 4h00. Pendant les périodes de transition, l'aliment distribué est un mélange 50/50 des deux aliments expérimentaux.

Pour l'essai 2, six groupes de 40 poulets mâles de souche Ross ont été utilisés avec, au sein de chaque groupe, une moitié affectée à l'aliment N et l'autre moitié à l'aliment H. Les mesures en chambre respiratoire sont réalisées soit la 4^{ème}, soit la 5^{ème}

semaine d'âge avec un âge moyen identique pour les 2 traitements. Les aliments N et H diffèrent également par leurs teneurs en amidon et en protéines (environ 4,7 points de différence; tableau 1). L'aliment est granulé et distribué en 6 repas distants de 3 heures, l'aliment étant disponible pendant 30 minutes à chaque repas. L'obscurité est maintenue entre 2h30 et 6h30.

Lors des périodes d'adaptation et pendant les 7 jours de mesures en chambre respiratoire, les poulets sont en groupe dans une cage de 1,00 m x 0,60 m (auge de 0,55 m), elle-même introduite dans la chambre respiratoire. Cette chambre respiratoire étant de taille limitée et fixe, le nombre de poulets utilisés dans chaque mesure a varié dans l'essai 1 de 13-15 pour les animaux mesurés en 3^{ème} semaine à 6-7 en 6^{ème} semaine; dans l'essai 2, les nombres sont de 9-10 et 7-8 pendant les semaines 4 et 5. Les poulets sont maintenus à jeun le dernier jour en chambre respiratoire. L'eau est disponible à volonté.

1.2. Mesures et calculs

Les mesures débutent lors de l'introduction de la cage dans la chambre respiratoire. Les poulets sont pesés individuellement à l'entrée en chambre respiratoire, en fin de période nourrie et à l'issue du jeûne. Les quantités d'aliment ingérées par le groupe sont mesurées, soit par journée pour l'essai 1, soit pour chaque repas dans l'essai 2. Une collecte totale des fientes est réalisée pendant la période nourrie. Les concentrations en oxygène et en gaz carbonique dans la chambre respiratoire et l'activité physique des poulets (appréciée par des capteurs de force placés sous la cage) sont mesurées en continu (1 moyenne par 10 secondes). Les mesures réalisées pendant la journée à jeun permettent d'estimer la production de chaleur à jeun (ou FHP). Celles des journées nourries conduisent à une estimation de la production de chaleur totale et de la dépense d'énergie liée à l'activité physique (AHP); la différence entre la production de chaleur totale et la somme de FHP et AHP représente l'effet thermique de l'aliment (TEF); enfin, la somme de AHP et TEF est une estimation de l'extra-chaleur. Les méthodes utilisées pour ces calculs ont été décrites par van Milgen et al. (1997). La mesure des teneurs en énergie brute et en azote de l'aliment et des fientes permet de déterminer la quantité d'EM ingérée, le bilan d'azote et le dépôt d'énergie sous forme de protéines. Le gain d'énergie total correspond à la différence entre l'EM ingérée et la production de chaleur; celui sous forme de lipides est calculé comme la différence entre le gain total d'énergie et celui sous forme de protéines. La valeur EN pour une quantité d'EM ingérée donnée est égale à la somme de FHP et du gain d'énergie; le rendement d'utilisation de l'EM en EN est EN/EM (x100).

Les données de chaque essai, exprimées par poulet et par jour, ont été traitées par analyse de variance

avec prise en compte des effets aliment (n=2), âge (n=2) et de l'interaction âge-aliment. Toutes les données de production de chaleur et de bilan d'énergie ont été exprimées par kg de poids vif (kg) à la puissance 0.70 (Noblet et al., non publié). Des analyses de covariance ont été également effectuées de façon à ajuster les données pour des consommations d'EM identiques. Les effets de l'âge sur l'utilisation de l'énergie sont sans surprise et ne seront pas présentés. Les interactions entre l'âge et la composition de l'aliment ne sont pas significatives. ières grasses

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats des deux essais sont présentés dans le tableau 2. Ils mettent en évidence qu'au sein de chaque essai et même si les apports d'acides aminés soufrés sont équivalents, l'accroissement de la teneur en protéines se traduit par une augmentation de la vitesse de croissance et de la rétention azotée sans que le niveau de consommation d'aliment ou d'EM soit affecté. Il en résulte une meilleure efficacité alimentaire ($P < 0.05$). Ceci est conforme aux données de la bibliographie. La moindre efficacité alimentaire dans l'essai 2 pour l'aliment N est à relier pour une part à la moindre valeur énergétique des aliments. La production de chaleur accrue et ce malgré une moindre consommation d'aliment (données exprimées par $\text{kg}^{0.70}$) dans l'essai 2 contribue également à cette moindre efficacité alimentaire.

De façon surprenante et contrairement au porc (Le Bellego et al., 2001; Noblet et al., 2001), la variation de la teneur en protéines (et symétriquement en amidon) de l'aliment, et ce intra essai, est sans conséquence sur la production de chaleur des poulets. Il en est de même pour les différentes composantes de la production de chaleur. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par MacLeod (1997). La diminution du quotient respiratoire (rapport CO_2 produit sur O_2 consommé) lorsque le taux de protéines s'accroît est logique avec la plus grande proportion d'énergie catabolisée en provenance des protéines. Il en résulte que intra essai le rapport EN/EM n'est pas affecté par la teneur en protéines de l'aliment. En relation avec une rétention de protéines accrue avec l'augmentation du taux de protéines, le dépôt de lipides est réduit lorsque l'apport de protéines est accru. Enfin, la teneur en énergie exprimée tant en EM qu'en EN est plus faible dans l'essai 2 en relation avec le taux d'incorporation de tourteau de soja et la teneur en parois végétales plus élevés et le moindre niveau de matières grasses dans les aliments de l'essai 2.

Même si la comparaison directe des deux essais est difficile au plan statistique, les données indiquent que la production de chaleur des poulets de l'essai 2 est numériquement plus élevée alors que l'EM

ingérée est plus faible (données exprimées par $\text{kg}^{0.70}$); l'écart de production de chaleur s'explique par un effet thermique de l'aliment et, dans une moindre mesure, des dépenses liées à l'activité physique qui sont accrues dans l'essai 2. Ce résultat ne serait pas dû à la différence de mode d'alimentation entre les 2 essais puisque des résultats récents mettent en évidence que des poulets alimentés ad libitum ou en repas ont une production de chaleur totale (et ses composantes) identique (non publié). Toutefois, la moindre teneur en matières grasses et celle plus élevée en parois végétales dans les aliments de l'essai 2 peuvent contribuer à une extra-chaleur plus élevée. On peut surtout rappeler que les deux essais ont été conduits à trois années d'écart et avec des génotypes différents.

CONCLUSION

Les résultats des deux essais mettent en évidence que le remplacement d'une partie de l'amidon par des protéines est sans conséquence sur la production de chaleur du poulet ainsi que sur toutes les composantes de cette production de chaleur. Il en résulte que le rapport EN/EM demeure constant avec la variation du taux de protéines de l'aliment. La méthodologie employée permet en outre de montrer que les dépenses d'activité physique chez le poulet représentent environ 10% de la quantité d'EM ingérée. Ces conclusions sur la non supériorité du système EN sur le système EM chez le poulet doivent être restreintes pour le moment au cas particulier de notre étude qui porte sur la comparaison amidon vs protéines. Nos études récentes sur les effets d'une variation des teneurs en matières grasses ou en parois végétales conduisent à ne pas extrapoler cette première conclusion. Toutefois, l'amplitude des effets est modeste par rapport à ce qui est observé chez le porc.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Carré, B., 2001. 4èmes Journées de la Recherche Avicole; Nantes, 123-130. ITAVI, Paris.
- Le Bellego L., van Milgen J., Noblet J., 2001. J. Anim. Sci. 79: 1259-1271.
- MacLeod M. G. 1997. Br. Poult. Sci. 38: 405-411
- Noblet J, Fortune H., Shi X.S., Dubois S., 1994. J. Anim. Sci. 72: 344-354
- Noblet J., Le Bellego L., van Milgen J., Dubois S., 2001. Anim. Res. 50: 227-238
- van Milgen J., Noblet J., Dubois S., Bernier J.F., 1997. Br. J. Nutr. 78: 397-410.
- Warpechowski M., Carré B., Dubois S., van Milgen J, Noblet J., 2004. Braz. J. Poult. Sci. 6(1) :0-0 (Errata: Prêmio Lamas – Nutrição).

Tableau 1. Composition simplifiée et caractéristiques des aliments expérimentaux.

Régime	Essai 1 ²		Essai 2	
	BP	NP	NP	HP
Composition centésimale, %				
Maïs + blé	45.6/50.6	45.6/50.6	48.5	48.5
Tourteau de soja	29.5/25.4	29.5/25.4	38.4	38.4
Amidon de maïs & acides aminés	6.9/6.9	-/-	6.3	-
Protéines de soja & acides aminés	-/-	6.9/6.9	-	6.3
Composition chimique, % ¹				
Matières minérales	5.3/5.1	5.4/5.2	5.9	6.0
Matières azotées	19.7/18.0	24.4/22.7	22.5	27.3
Amidon	49.0/52.2	44.3/45.4	36.7	32.4
Matières grasses	7.4/7.4	7.4/7.4	5.2	5.3
Cellulose brute	2.9/2.9	2.9/2.9	3.6	3.6
Energie brute, kJ/g	17.17/17.11	17.48/17.41	17.02	17.16
Acides aminés digestibles, % ^{1,3}				
Méthionine + Cystine	0.84/0.75	0.84/0.75	0.77	1.01
Lysine	1.06/0.95	1.25/1.15	1.14	1.42
Thréonine	0.69/0.63	0.83/0.77	0.77	0.93
Tryptophane	0.21/0.19	0.27/0.25	0.23	0.30

¹ Valeurs ajustées à une teneur en matière sèche de 89% ² Stade 1 (sem 3)/stade 2 (sem 6) ³ valeurs estimées

Tableau 2. Performances et bilans nutritionnels chez le poulet de chair: effet du taux de protéines (/poulet/jour)

	Essai 1				Essai 2			
	BP	NP	ETR ³	Stat. ³	NP	HP	ETR ³	Stat. ³
Performances								
Poids vif moyen, kg	1.46	1.47	0.10	NS	1.35	1.34	0.03	NS
Ingestion, g/j ¹	142	142	7	NS	142	138	7	NS
Croissance, g/j	76	85	8	0.05	78	83	8	NS
Indice de consommation, g/g ¹	1.82	1.66	0.14	0.04	1.81	1.64	0.10	0.02
Bilan azoté, g/j								
Ingéré	4.22	5.27	0.22	0.001	5.10	6.02	0.28	0.001
Retenu	2.55	2.94	0.30	0.02	2.77	2.97	0.20	NS
Bilan énergétique ⁴ , kJ/kg ^{0,70}								
EM ²	1609	1609	-	-	1457	1457	-	-
Chaleur								
Totale	853	846	21	NS	892	872	18	0.08
FHP ²	450	439	17	NS	419	416	15	NS
AHP ²	146	153	21	NS	173	168	12	NS
TEF ²	257	256	35	NS	299	288	17	NS
Energie retenue								
Totale	756	763	21	NS	565	585	18	NS
Protéines	331	369	22	0.01	332	369	12	0.01
Lipides	424	394	35	NS	232	216	24	0,02
Quotient respiratoire								
EM/EB ²	1.06	1.01	0.01	0.001	1.00	0.97	0.01	0.001
EN/EM ²	78.7	77.5	2.2	NS	74.7	73.6	0.8	0.06
EN/EM ²	75.1	74.8	1.7	NS	67.7	68.6	1.3	NS
Valeurs énergétiques, MJ/kg ¹								
EM ²	13.49	13.52	0.40	NS	12.72	12.64	0.15	NS
EN ²	10.14	10.12	0.45	NS	8.62	8.66	0.21	NS

¹ Valeurs ajustées à une teneur en matière sèche de 89% ² EB: énergie brute, EM: énergie métabolisable, EN: énergie nette, FHP: "fasting heat production", AHP: "activity heat production", TEF: "thermic effect of feed" ³ ETR: écart type résiduel, Stat: niveau de l'effet du régime (intra essai; P<; NS: P>0,10) ⁴ Données ajustées pour une même quantité d'EM.

**ALIMENTATION SEQUENTIELLE ET MAITRISE DE L'INGESTION CHEZ LE
POULET DE CHAIR
EFFETS DES TENEURS ENERGETIQUES ET PROTEIQUES DES ALIMENTS**

Bouvarel Isabelle¹, Chagneau Anne Marie², Lescoat Philippe², Vilariño Maria³, Juin Hervé⁴, Métayer Jean-Paul³, Lessire Michel², Crépon Katell⁵, Etave Guillaume⁶, Tesseraud Sophie², Leterrier Christine⁷

¹ITAVI, UR83, 37380 Nouzilly, ²INRA, UR83, 37380 Nouzilly,
³Arvalis- Institut du végétal, 41100 Villerable, ⁴INRA, Le Magneraud, 17700 Surgères,
⁵Unip-Onidol, 75008 Paris, ⁶INZO°, 02402 Château-Thierry,
⁷UMR PRC 37380 Nouzilly

Ce travail a été réalisé dans le cadre de l'Unité Mixte Technologique BIRD
(Biologie et Innovation pour la Recherche et le Développement en aviculture)

RÉSUMÉ

L'alimentation séquentielle est un mode d'alimentation qui consiste à distribuer plusieurs aliments à l'animal en alternance, au sein de cycles de un à quelques jours. Lorsque ces aliments ont une teneur en énergie et/ou en protéines différente, une sous-consommation trop importante des aliments peut être observée et handicape les performances. Nous avons donc cherché à dissocier les effets respectifs des teneurs en énergie et en protéines, sur l'ingestion d'aliments granulés courts (4 à 5 mm), en mesurant sur 96 poulets Ross en cages individuelles, l'impact d'une variation du taux protéique (23 et 15%) et/ou énergétique (2800 et 3200 kcal/kg), de deux aliments distribués séquentiellement. Cette alimentation a été comparée à une alimentation continue (MAT=19% et EM=3000 kcal/kg) durant quatre cycles de 48h, à partir de 10 jours d'âge, par la mesure des cinétiques de consommation quotidiennes. Les caractéristiques physiques des aliments ont été mesurées et des tests de choix alimentaires de 5, 30 et 60 mn ont permis ensuite de caractériser les préférences d'animaux naïfs ou non. Les animaux recevant une alimentation séquentielle ont eu des consommations quotidiennes similaires à celles des témoins, mais les aliments les plus énergétiques étaient surconsommés la première heure de distribution avec une compensation pendant le reste de la journée. L'expérience alimentaire a modifié le choix des animaux lorsque ceux-ci ont reçu une alternance d'aliments différant uniquement par le taux énergétique. Dans nos conditions, les aliments proposés en alternance ne modifient pas la croissance. Ces différences par rapport aux études précédentes, ne peuvent s'expliquer par les effets de l'apprentissage mais par des caractéristiques physiques différentes des aliments, ces dernières semblant déterminantes pour une utilisation maîtrisée de l'alimentation séquentielle.

ABSTRACT

Sequential feeding is a cyclic feeding programme of two feeds, one protein-rich-energy-poor and one energy-rich-protein-poor, during one or several days. A low feed intake can appear and decreases growth performance. Therefore, the aim of the present study was to investigate energy (2800 and 3200 kcal/kg) and protein (230 and 150g/kg) content effects on daily short-pellet intake, during a 48h-sequential feeding cycle. The experiment was carried out on 96 Ross chickens from 10 days of age, previously placed in individual cages. A control group was fed with a standard diet, whereas the sequential groups were fed on two different diets for four cycles of 48h. Physical characteristics of feeds and daily feed intake were measured, and a choice test was then carried out for 5, 30 et 60 mn with naïve and experiment chickens.

Feed intake was similar with sequential feeding and complete feed but high energy feed was over-consumed during the first hour of distribution, compensated the rest of the day. Experience modified chicken's choice of high or low energy feeds. In our conditions, sequential feeding did not modify growth. Differences with the previous experiment are not explained by learning but by different physical characteristics of feeds, which appear as determining factors in the control of sequential feeding.

INTRODUCTION

L'alimentation séquentielle est un mode de gestion de la croissance, permettant de moduler les tendances de consommation naturelles du poulet, tout en recréant partiellement les conditions d'une alimentation plus variée (Gous and Du Preez, 1975 ; Rys and Koreleski, 1980). Elle permet également de diminuer l'incidence des troubles locomoteurs en augmentant l'activité des animaux (Bizeray et al., 2002), et par le jeu de la formulation, de baisser le coût alimentaire. Néanmoins, une sous-consommation globale trop importante peut être observée avec la distribution de deux aliments, l'un hyper énergétique et l'autre hyper protéique, durant des cycles de 48h, handicapant alors les performances de croissance (Bouvarel et al, 2007).

C'est pourquoi nous avons cherché à dissocier les effets respectifs des changements des teneurs en énergie et en protéines des aliments sur la régulation de l'ingestion à court terme, sur la journée et au cours des cycles. Nous avons déterminé les caractéristiques physiques des aliments de manière à comprendre leur interrelation et leur influence sur la consommation. Nous avons également étudié les préférences alimentaires des animaux et recherché si l'apprentissage permettait d'expliquer l'évolution de ces consommations après quatre cycles.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Caractérisations physiques des aliments

Les aliments ont été préparés à l'Unité de Recherches Avicoles, puis granulés par Arvalis-Institut du Végétal ($\varnothing=2,5$ mm). Cette expérience a été réalisée avec des aliments granulés plus courts que dans l'étude de Bouvarel et al., 2007, afin de faciliter l'ingestion d'aliments durs par les animaux. Un échantillon de 2 kg de chaque aliment a été analysé selon les critères suivants : % fines particules ($<0,6$ mm), longueur des granulés (300 mesures par aliment), durabilité (Sabe), dureté (Instron), couleur (CIEL LAB).

1.2. Cinétiques d'ingestion

L'expérience visait à comparer une alimentation continue à différentes modalités d'alimentation séquentielle chez des poulets de chair Ross PM3, élevés en cages individuelles. Elle a été réalisée de J10 à J17, au cours de 4 cycles de distribution de 48h. Quatre traitements ont été comparés : distribution d'un aliment complet équilibré (C), alternance de deux aliments variant par leur teneur en protéines (S_p : P+ suivi de P-), par leur concentration énergétique (S_E : E+ puis E-) et les deux à la fois (S_{EP} : E-P+ puis E+P-) (tableau 1).

Les taux protéiques des aliments distribués en séquence ont été de 23 (P+) et 15% (P-) et les taux énergétiques s'élevaient à 2800 (E-) et à 3200 kcal/kg (E+). Les caractéristiques nutritionnelles de l'aliment témoin sont identiques à celles d'un aliment reconstitué, sur la base d'une consommation de 50% de chacun des deux aliments distribués en séquentiel. Les changements d'aliment ont eu lieu le matin, dès l'allumage. La durée d'éclairage était de 16h.

Cent cinquante poulets ont été placés en cage dès leur arrivée, par groupe de 2 jusqu'à la mise en lot à J8. Les 96 animaux retenus (poids le plus proche de la moyenne de l'ensemble) ont été alors placés en cage individuelle. Les animaux ont reçu le même aliment démarrage (D) jusqu'à J9 sous forme de petits granulés. A J10, un aliment croissance expérimental leur a été distribué jusqu'à J17. La consommation a été contrôlée à 15 mn, 1, 2, 5, 8, 12 et 24h pour chaque jour des 1^{er} et 4^{ème} cycles, et à 24h pour les cycles 2 et 3.

1.3. Tests de choix

Les animaux ont reçu de J18 à J20 l'aliment C. A J20, un test de choix a été réalisé à l'aide du dispositif SRABOX (Chagneau et al, 2006). Les aliments ont été testés par paire pour chacun des traitements S_p , S_E et S_{EP} et ont été introduits en damier dans huit micro mangeoires.

Durant le test, les animaux ont reçu les aliments à l'allumage, pendant 1 h. Les micro mangeoires ont été pesées après 5, 30 et 60 mn de consommation. Les animaux ont reçu les aliments auxquels ils avaient été habitués de J10 à J17.

Par ailleurs, des animaux ont été élevés en parallèle dans une autre cellule, dans les mêmes conditions d'élevage et nourris avec l'aliment C. Ils ont été soumis au même test de choix que les autres animaux.

Un entraînement au test a été réalisé avec l'aliment témoin, durant les deux jours précédents les mesures.

1.4. Statistiques

Des corrélations, analyses de variance et comparaisons de moyennes (test de Student) ont été réalisées à l'aide du logiciel Statview. Les préférences en situation de choix ont été analysées avec le test de Wilcoxon.

2. RESULTATS

2.1. Caractéristiques physiques des aliments (tableau 2)

La durabilité des aliments a varié de 48 à 93% selon les aliments et est dépendante en partie de la teneur en matières grasses de l'aliment ($n=8$, $R^2=0,57$). Les aliments de durabilité élevée étaient ainsi les aliments E-, E-P+ et C (>90%) tandis que E+, le

plus riche en huile, présentait la durabilité la plus faible (48%). Une durabilité élevée est associée à un faible taux de fines (<0,6 mm) (n=8, R²=0,92) et une longueur de granulés plus élevée (4,2 à 5,0 mm) (n=8, R²=0,85). La dureté a varié de 0,6 à 1,7 Mpa et diminuait avec la teneur en matière grasse de l'aliment (n=8, R²=0,90). Les aliments les plus durs étaient ainsi E-P+ et E-. La couleur était contrastée entre les aliments du traitement S_E. La clarté (L*) et également la saturation (c) sont dépendantes de la teneur en matière grasse (n=8, R²=0,84 et 0,85 respectivement) : les aliments de couleur claire et peu saturée sont aussi les moins gras.

2.2. Cinétiques d'ingestion (tableau 3 et figure 1)

A J8, les animaux avaient en moyenne un poids de 194 g. La consommation sur 24h et les cinétiques de consommation étaient identiques entre traitements, avant le changement d'aliment à J9. Durant la période d'alimentation séquentielle, les consommations totales et celles des 1^{ers} et 2^{nds} jours du cycle, n'ont pas été significativement différentes du témoin. Les consommations de P+ (S_P) et E-P+ (S_{EP}) ont été inférieures de 4,6% à E- (S_E) (P<0,05). Les croissances ont également été les mêmes. Lors du 1^{er} cycle, les cinétiques de consommation intradiennes des aliments n'ont pas été significativement différentes pour chacune des plages horaires étudiées. En revanche, pour le 4^{ème} cycle, des différences de cinétique ont été observées entre traitements mais uniquement pour le 1^{er} quart d'heure. Les vitesses de consommation des aliments C et P+ ont été deux fois plus élevées que celles de E- et P+E- (P<0,01). A l'inverse, le lendemain, les vitesses de consommation des aliments C et P- ont été 25% moins élevées que celles de E+ et P-E+ (P<0,01). Le premier quart d'heure, la vitesse de consommation est plus élevée pour les aliments les plus énergétiques, avec un effet deux fois plus marqué pour la comparaison 2800/3000 kcal/kg que pour 3000/3200 kcal/kg.

2.3. Tests de choix (figure 2)

Lors du test de choix, les animaux naïfs ou non recevant le traitement S_P ont exprimé une préférence progressive en faveur de P- (P<0,05 pour les naïfs et P<0,08 pour les non naïfs, à 60 mn). Le contraste de couleur entre P- et P+ était peu important mais P- présentait une dureté très proche de celle de l'aliment C, distribué les jours précédents le test.

Pour S_E, le choix a été dirigé immédiatement pour les naïfs vers E- (P<0,05 à 5 mn), tandis que les animaux expérimentés ont préféré E+ au bout d'un temps plus avancé (P<0,05 à 60 mn). La différence de choix entre les deux catégories d'animaux a été immédiate. Les aliments S_E présentaient des caractéristiques physiques éloignées de celles de C, du fait de forts contrastes de couleur (L*, c) et de

texture (durabilité, dureté). E- était ainsi plus clair et plus dur que E+.

Avec S_{EP}, aucun choix significatif n'a été effectué pour les deux catégories d'animaux, bien que chez les naïfs, l'aliment E-P+ tende à être préféré. Les contrastes de couleur (L*, C) et de texture (durabilité, dureté) étaient moins marqués que pour S_E. E-P+ était plus clair et plus dur que E+P-.

3. DISCUSSION

L'alimentation séquentielle telle que pratiquée dans cette expérience a permis d'obtenir des performances de croissance et d'ingestion similaires à celles obtenues avec une alimentation témoin complète, contrairement à ce qui a été observé par Bouvarel et al (2007). Toutefois, les aliments étaient présentés sous forme de granulés de longueur inférieure (4 à 5 mm vs 6 mm), ce qui a pu faciliter l'ingestion de particules dures.

Les différences de consommation intradiennes observées au cours du 4^{ème} cycle de distribution concernent les aliments différant en énergie. La durée de surconsommation des aliments les plus énergétiques et de sous-consommation pour les aliments les moins énergétiques sont très courtes (15 mn). Elles peuvent être la conséquence de l'état métabolique de l'animal restreint ou non le jour précédent et également à une attirance sensorielle, ou les deux à la fois.

Les tests de choix permettent de mieux comprendre les facteurs perçus par les poulets au niveau de la structure physique de l'aliment. La rapidité des décisions exprimées par les animaux naïfs (5 mn) suggère que leur choix est guidé immédiatement par la vision, et notamment la couleur claire de l'aliment (Rogers, 1995 ; Chagneau et al, 2006). C'est ce qui a été observé avec des animaux naïfs à qui l'on distribue des aliments de caractéristiques physiques fortement contrastées plus ou moins énergétiques : le choix s'est dirigé vers l'aliment le plus clair (et en l'occurrence le moins énergétique). En revanche, les animaux ayant préalablement reçu une alimentation séquentielle avec ces mêmes aliments expriment un choix moins rapide et différent, puisque c'est l'aliment le plus énergétique mais aussi le moins clair qui est le mieux consommé. La couleur, puis dans un second temps, les caractéristiques physiques (forme, dureté) des particules paraissent immédiatement identifiées puis évaluées par le jeune poulet (Picard et al, 1997). Les animaux reconnaissent l'aliment énergétique E+, qu'ils consommaient d'ailleurs plus rapidement durant les 15 premières minutes de distribution lors de l'alimentation séquentielle. Ce choix pourrait s'expliquer par la perception d'une différence de dureté, entre les deux aliments offerts. Les choix sont moins prononcés avec des aliments variant à la fois par leurs teneurs énergétique et protéique, certainement du fait d'une différence de

palatabilité moins marquée entre les deux aliments. La préférence progressive pour l'aliment peu protéique comparé au plus protéique peut s'expliquer par une similitude de palatabilité due à la dureté, avec l'aliment distribué les jours précédents. L'alimentation séquentielle n'aurait pas dans le cas d'une variation de la teneur en protéines, engendré d'apprentissage particulier.

CONCLUSION

L'alimentation séquentielle semble induire des apprentissages qui orientent le choix des animaux, leur permettant d'associer composition énergétique et caractéristiques physiques de l'aliment. Toutefois, ces différences de perception n'engendrent pas de sous-consommation globale comme cela a été observée par Bouvarel et al (2007) et pourraient s'expliquer par des caractéristiques physiques différentes des aliments. Notre expérience montre donc qu'il existe une forte interaction entre la composition de l'aliment et ses caractéristiques physiques et que ces dernières sont déterminantes pour une utilisation maîtrisée de l'alimentation séquentielle.

- Bizeray D., Leterrier C., Constantin P., Picard M., et Faure J.M., 2002. *Poult. Sci.*, 81 : 1798-1806.
- Bouvarel I., Chagneau A.M., Vilariño M., Juin H., Lescoat P., Métayer J.P., Lessire M., Crépon K., Etave G., Tesseraud S., Leterrier C., 2007. 7^{èmes} JRA, 28-29 mars 2007.
- Chagneau A.M., Bessonneau D., Bouchot C., Lescoat P., Picard M., et Lessire M., 2006. *Poult.Sci.* 85: 808-815.
- Gous R. M., and J. J. Du Preez, 1975. *Br. J. Nutr.* 34:113-118.
- Nir I., Twina Y., Grossman E. et Z. Nitsan, 1994. *B. Poult. Sci.*, 35 : 589-602.
- Picard M., Giboulot B. et Melcion J.P., 1997. 2^{èmes} JRA, 8-10 avril 1997, 197-200.
- Picard M., Melcion J.P., Bertrand D. et J.M. Faure, 2002. In *Poultry Feedstuffs : supply, composition and nutritive value*, 279-300.
- Rogers L.J., 1995. CAB Intern. (UK). 273p.
- Rys, R., and J. Koreleski. 1980. *Arch. Tierernahr.* 30:133-139.

Tous nos remerciements à K. Gérard, F. Breton et B. Guillem pour leur aide, et à l'enveloppe de recherche ACTA et le CAS DAR pour leur soutien financier.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Figure 1. Cinétiques de consommation (cycles 1 et 4)

Les moyennes portant des lettres différentes présentent des écarts significatifs au seuil $\alpha=5\%$

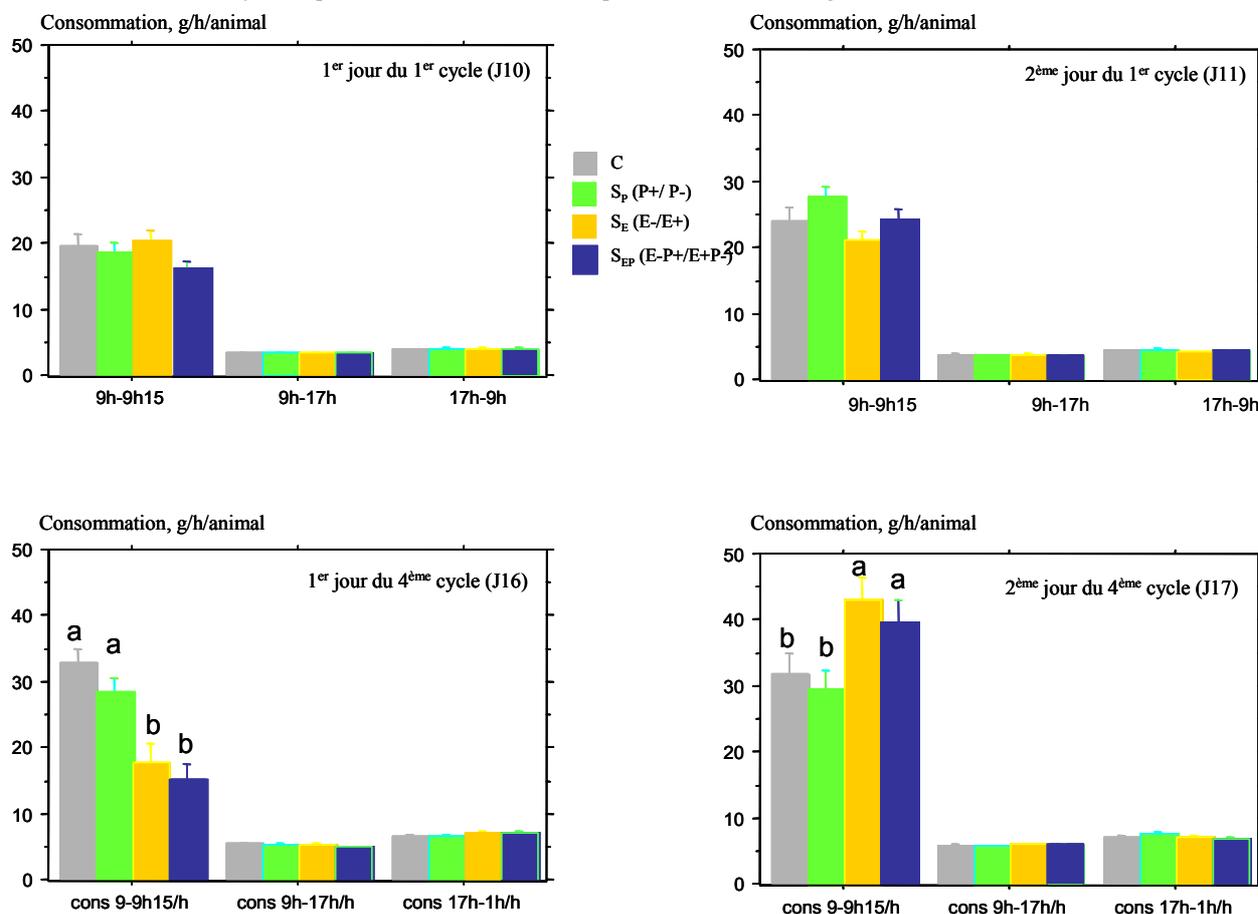


Tableau 1. Composition et caractéristiques nutritionnelles des aliments

Traitement Aliments	D	C	S _P		S _E		S _{EP}	
			P+	P-	E-	E+	E-P+	E+P-
Composition, %								
Mais	36,51	20,12	30,98	30,54	20,58	45,23	12,35	50,44
Blé	23,23	50,00	24,78	50,00	50,00	20,96	50,00	27,61
Tourteau soja	33,44	18,39	31,48	12,05	24,78	17,87	27,06	9,00
Gluten maïs		4,73	5,00	1,48	0,18	7,00	6,00	5,00
Huile colza	3,00	2,91	4,00	2,14	0,80	5,00	0,77	4,00
Phosphate bicalcique	1,82	1,34	1,46	1,37	1,32	1,54	1,288	1,54
Carbonate calcium	0,92	1,24	1,08	1,27	1,21	1,12	1,209	1,19
Méthionine	0,21	0,14	0,21	0,09	0,17	0,11	0,208	0,05
Lysine HCL	0,12	0,37	0,27	0,31	0,21	0,39	0,363	0,39
Tryptophane						0,02		0,03
Thréonine		0,009		0,009				0,001
Sel	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Anticoccidien	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Prémix	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Caractéristiques nutritionnelles								
EM (kcal / kg)	2900	3000	3000	3000	2800	3200	2800	3200
Protéines brutes, %	21,0	19,0	23,0	15,0	19,0	19,0	23,0	15,0
Lysine totale, %	1,18	1,07	1,29	0,84	1,07	1,07	1,29	0,84
Matières grasses, %	5,68	5,06	6,53	4,56	2,85	7,43	2,86	6,69
Calcium, %	1,00	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Phosphore disponible, %	0,43	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37

Tableau 2. Caractéristiques physiques des aliments

Traitements Aliments	D	C	S _P		S _E		S _{EP}	
			P+	P-	E-	E+	E-P+	E+P-
Durabilité, %	60,1	90,2	77,3	87,1	90,4	48,4	92,7	76,4
Particules < 0,6mm, %	2,9	2,8	4,7	2,6	3,2	10,3	2,4	7,0
Dureté, MPa	0,9	1,2	0,8	1,1	1,6	0,6	1,7	0,9
Longueur, mm		4,9	4,6	4,6	4,8	4,2	5,0	4,5
Couleur : L* (plus clair)	57,2	57,9	57,3	59,7	61,2	56,2	60,1	57,6
c (plus saturé)	27,7	26,5	29,7	26,0	24,6	31,4	26,4	31,5

Tableau 3. Consommations et performances de croissance (n= 24 poulets par traitement)

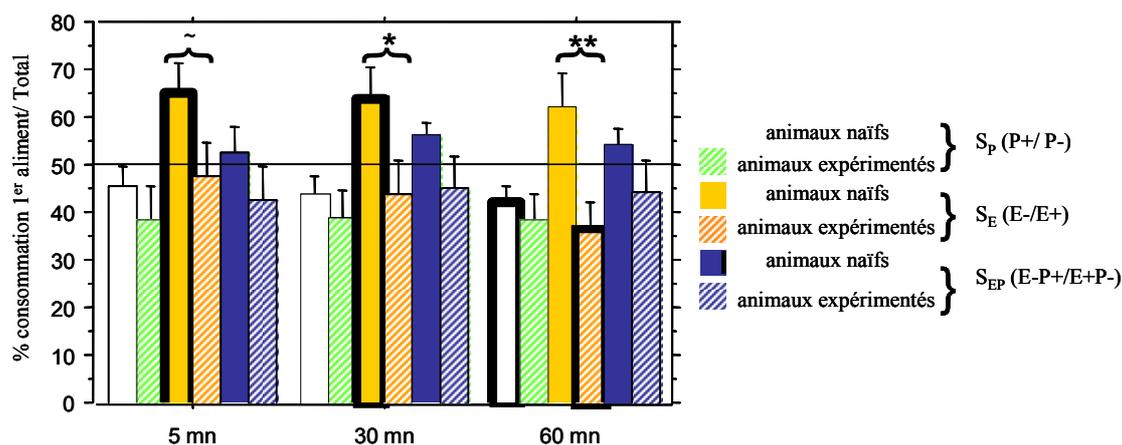
Traitement	C	S _P	S _E	S _{EP}	P<
Poids, g					
J8	194±0,7	194±0,7	194±0,7	194±0,7	NS
J18	675±12	694±12	687±9	676±12	NS
Consommation, g					
J9	50,8±21,0	51,4±1,1	50,6±1,2	50,9±0,9	NS
J10-J17	630,5±13,6	632,7±12,8	643,4±9,6	628,8±13,3	NS
1 ^{ers} jours du cycle	300,0±7,4	297,9±6,0	311,7±5,0	298,3±6,2	NS
2 ^{emes} jours du cycle	330,5±6,4	334,8±7,2	331,7±5,1	330,5±7,8	NS

NS : Non Significatif ;

Le temps a un effet significatif sur toutes les variables de consommation J10-J17

Figure 2. Préférences alimentaires exprimées en consommation relative du 1^{er} aliment (P+, E- ou P+E- selon les comparaisons) durant 5, 30 ou 60 mn de test chez des animaux naïfs ou expérimentés.

Choix différent de 50% : encadré épais : P<0,05 ; Différence entre naïfs et expérimentés ** : P<0,01 ; * : P<0,05 ; ~ : P<0,10



EFFICACITÉ ET MODE D'ACTION D'UNE NOUVELLE PHYTASE EN ALIMENTATION DES VOLAILLES

Debicki-Garnier Anne-Marie¹, Sands Jason¹, Péron Alexandre¹, Messenger Bertrand²

¹DANISCO ANIMAL NUTRITION - Marlborough - Wiltshire, SN8 1XN, UK

²CEVA - La Ballastière - 33500 Libourne

RÉSUMÉ

Le développement de l'utilisation des phytases exogènes a permis une meilleure utilisation du phosphore alimentaire, ce qui a induit une diminution de l'utilisation de phosphore inorganique dans les aliments pour les volailles et une réduction des rejets dans l'environnement. L'objectif de cette étude était, à partir d'un essai réalisé en dindons, d'évaluer l'efficacité d'une 6-phytase issue d'*Escherichia coli* et produite par *Schizosaccharomyces pombe*, et de la comparer à une phytase d'origine fongique *Aspergillus niger* prise comme référence. Les dindons femelles de souche Nicholas Large White étaient nourris de 1 à 21 jours d'âge avec un aliment à base de maïs/soja réduit en phosphore et calcium par rapport aux besoins. Le régime était supplémenté avec des doses de phytases de 0, 250, 500 et 1000 FTU/kg d'aliment. Les performances de croissance et la qualité de la minéralisation osseuse ont été mesurées à 21 jours d'âge et un coefficient de rétention du phosphore et du calcium calculé entre 15 et 19 jours d'âge. L'ajout de phytase au régime carencé en phosphore et calcium a permis une amélioration significative de la croissance et de la qualité de la minéralisation osseuse exprimée en taux de cendres des os et des tibias due à une augmentation de la rétention du phosphore et du calcium. La réponse était de type exponentiel avec plateau. Une différence notable entre la phytase *S. pombe* et la phytase *A. niger* a été mise en évidence dans cette étude, en particulier pour les doses de 250 et 500 FTU/kg d'aliment, où le niveau de phosphore dans l'aliment est inférieur aux besoins des animaux. Ces résultats corroborent d'autres résultats obtenus en poulets, poules pondeuses et canards. Parmi les différents facteurs qui déterminent le mode d'action d'une phytase, il a été montré que la phytase *S. pombe* possédait une activité relative en fonction du pH supérieure aux phytases *A. niger* et *P. lycii*, et qu'elle était plus résistante à l'inactivation par les protéases endogènes du tube digestif. Ces deux paramètres sont essentiels pour une activité élevée dans la première partie du tube digestif où les phytates sont solubles et donc accessibles à la phytase.

ABSTRACT

The use of exogenous phytase in animal nutrition has enabled better phosphorus utilization by animals, allowing a reduction in inorganic phosphorus addition to the diets hence less negative impact on the environment. The aim of this study was to evaluate the efficacy of a 6-phytase from *E. coli*, produced by *Schizosaccharomyces pombe* and to compare its efficacy to a fungal phytase *Aspergillus niger* in a trial carried out in turkeys. Nicholas Large White females were fed a corn-based diet reduced in phosphorus and calcium levels compared to required levels, from 1 to 21 days of age. The feed was supplemented with phytases at 0, 250, 500 and 1000 FTU/kg feed. Performance and bone mineralization were measured at 21 days of age and phosphorus and calcium retention % calculated between 15 and 19 days of age. Phytase addition to the phosphorus and calcium deficient diet led to a significant growth improvement and a bone mineralization (expressed as toe and tibia ash %) improvement due to an increase in phosphorus and calcium retention. Response curves were plotted using an exponential decay curve fit. A difference in efficacy between *S. pombe* and *A. niger* was observed in this trial, especially with lower phytase doses (250 and 500 FTU/kg feed) where dietary phosphorus level is below requirement of the birds. Similar results have been observed in broilers, laying hens and ducks. Phytases from different sources possess different structural and biochemical properties that determine their mode of action. Key biochemical characteristics of *S. pombe* phytase were compared to *A. niger* and *P. lycii*. *S. pombe* had a wider pH activity profile and was more resistant to breakdown by the animal's own proteases. These two properties are essential for high activity in the upper portion of the gastrointestinal tract where phytates are soluble and therefore accessible to phytase.

INTRODUCTION

Le phosphore est un élément métabolique et structurel indispensable à la vie. Un apport adéquat de phosphore dans l'aliment est déterminant pour assurer la croissance et le développement osseux des volailles. Dans les aliments pour le bétail à base de céréales, plus de la moitié du phosphore présent est organique, sous forme de phytates. Toutefois, les volailles ne possédant pas de phytases endogènes intestinales en quantité suffisante, le phosphore phytique leur est en grande partie indisponible. Pour satisfaire les besoins en phosphore de l'oiseau, les aliments sont donc supplémentés avec des sources de phosphore inorganique. Suivant les matières premières utilisées et la proportion de phosphore inorganique ajouté, seulement 18 à 40 % du phosphore ingéré est retenu par l'animal. Le développement récent de l'utilisation des phytases d'origine microbienne a permis une meilleure utilisation du phosphore alimentaire, induisant une réduction des rejets dans l'environnement. Ces dernières années, les progrès réalisés en biotechnologie et en fermentation industrielle ont permis de produire des phytases plus efficaces et à un coût significativement moins élevé.

L'objectif de cette étude était, à travers un essai réalisé en dindon, d'évaluer l'efficacité d'une 6-phytase issue d'*Escherichia coli* produite par *Schizosaccharomyces pombe*, et de la comparer à une phytase d'origine fongique actuellement autorisée dans l'Union Européenne, *Aspergillus niger*, prise comme référence.

1. MATÉRIELS ET MÉTHODES

1.1. Dispositif expérimental

210 dindons femelles de souche Nicholas Large White étaient répartis en 7 traitements, chacun comprenant six cages de cinq dindons. Les animaux étaient nourris pendant 21 jours avec un aliment présenté sous forme de farine et contenant 51.2 % de maïs, 43.4 % de tourteau de soja, de l'huile, des vitamines, des minéraux et de l'oxyde de chrome, utilisé comme marqueur indigestible. Les principales caractéristiques nutritionnelles du régime étaient : 2800 kcal/kg d'énergie métabolisable, 27.5 % de protéine et 1.68 % de lysine. L'aliment contenait aussi 0.93 % de calcium, 0.55 % de phosphore total et 0.26 % de phosphore digestible (CVB, 1999), soit des apports bien inférieurs aux recommandations (NRC, 1994 : Ca 1.2%, phosphore non phytique 0.6%). De plus, le régime était supplémenté avec des activités de phytases, *S. pombe* ou *A. niger*, de 0, 250, 500 et 1000 FTU/kg d'aliment, ajustées à partir de lots contenant respectivement 5145 et 5536 FTU/g. Les animaux étaient pesés individuellement à 1 et 21

jours d'âge. Pour chaque cage, une collecte des excréta était réalisée entre 15 et 19 jours d'âge. À 21 jours d'âge, tous les dindons étaient sacrifiés et les orteils et les tibias étaient prélevés.

1.2. Mesures et déterminations

Pour chaque traitement, les gains de poids, les consommations d'aliment et les indices de consommation ont été mesurés entre 1 et 21 jours d'âge. Les teneurs en calcium, phosphore et oxyde de chrome ont été mesurées dans les aliments et les excréta et, pour chacun des 7 traitements, un coefficient de rétention du phosphore et du calcium a été calculé en utilisant la méthode des marqueurs indigestibles. La qualité de la minéralisation osseuse a été étudiée par l'analyse du taux de cendres des orteils et des tibias (*Li et al., 2000*). Les données ont été analysées par une analyse de variance et les moyennes inter-traitement ont été comparées en utilisant une analyse par contraste à un degré de liberté.

2. RÉSULTATS

2.1. Performances 1-21 jours

Les résultats des performances de croissance sont présentés en table 1. Le gain de poids des dindons du traitement témoin carencé en phosphore est de 298 g. L'ajout de phytase, quelque soit le taux d'incorporation, permet une amélioration significative des performances de croissance. Le gain de poids lors de l'ajout de phytase *S. pombe* atteint un plateau à 500 FTU/kg, après une augmentation très prononcée par rapport au témoin à 250 FTU/kg. Une représentation graphique de la croissance permet de mettre en évidence une réponse de type exponentielle. Dans la partie la plus sensible de la courbe (faibles doses de phytase), le taux d'amélioration du gain de poids est deux fois supérieur avec *S. pombe* qu'avec *A. niger*. Avec *A. niger* l'amélioration de la croissance se poursuit jusqu'à la dose de 1000 FTU/kg, le gain de poids étant alors équivalent à celui obtenu avec *S. pombe* à 250 FTU/kg. L'indice de consommation du témoin est de 1.89. Les observations décrites pour le gain de poids en présence de phytase tendent à s'appliquer aussi à l'indice de consommation, mais les différences entre *S. pombe* et *A. niger* ne sont pas significatives.

2.2. Minéralisation osseuse

Le taux de cendres des orteils du traitement témoin est de 8.68 % (tableau 1). L'ajout de phytase améliore significativement le taux de cendres. La phytase *S. pombe* montre une amélioration très prononcée du taux de cendres en première partie de courbe, puis atteint un plateau. La phytase *A. niger*

montre une augmentation du taux de cendres beaucoup plus lente, et atteint à 1000 FTU/kg un taux de cendres équivalent à celui obtenu avec *S. pombe* à 250 FTU/kg. Les observations faites sur le taux de cendres des tibias (tableau 1 et figure 1) sont similaires à celles décrites avec le taux de cendres des orteils. Les différences en taux de cendres des tibias et des orteils entre *S. pombe* et *A. niger* sont significatives à $P < 0.05$ pour les doses de 250 et 500 FTU/kg.

2.3. Rétention du phosphore et du calcium

Le taux de rétention du phosphore obtenu avec l'aliment témoin est de 37.1 %. L'ajout de phytase permet une amélioration significative du taux de rétention, pour atteindre une valeur proche de 53 %. L'addition de la phytase *S. pombe* entraîne une amélioration très rapide du taux de rétention du phosphore, avec un plateau atteint dès 250 FTU/kg, tandis que l'amélioration avec *A. niger* se fait progressivement. La phytase *S. pombe*, même utilisée à faible dose (250 FTU/kg), permet une libération de phosphore (et sa digestibilité) suffisante pour satisfaire les besoins des dindons à 21 jours d'âge.

En ce qui concerne le taux de rétention de calcium, il est de 27 % pour l'aliment témoin. L'ajout de phytase permet une augmentation significative de ce taux, les améliorations étant similaires dans cet essai quelle que soit la phytase incorporée. Un plateau est atteint dès 500 FTU/kg et la rétention maximum est d'environ 39 %.

3. DISCUSSION

Les besoins des volailles en phosphore et calcium sont particulièrement élevés en période de démarrage (Hocking et al., 2002; Lescoat et al., 2005). La réduction de ces deux éléments dans les aliments d'élevage a des répercussions importantes sur la croissance et le développement osseux. L'addition de phytase exogène permet d'améliorer l'utilisation du phosphore et, de façon indirecte, celle du calcium. Dans cet essai, effectué en dindons, l'incorporation de doses croissantes de phytase dans un aliment sub-carencé en phosphore et calcium a permis une amélioration significative des performances de croissance, de la minéralisation osseuse et de la rétention du phosphore et du calcium. Pour la phytase *S. pombe*, la représentation graphique de cette amélioration met en évidence une réponse de type exponentiel avec plateau. L'amélioration de la rétention apparente du phosphore et du calcium se traduit par une diminution des rejets, associée à une meilleure minéralisation et à une plus grande valorisation de la ration.

Une différence notable d'efficacité pour le gain de poids et la minéralisation osseuse entre la phytase

produite par *S. pombe* et celle produite par *A. niger* a été mise en évidence dans cette étude, en particulier pour les doses de 250 et 500 FTU/kg d'aliment. Ces résultats corroborent les nombreux résultats obtenus en poulets, pondeuses et canards. Les phytases de différentes sources ont chacune des propriétés physiques et chimiques qui déterminent leur mode d'action. Parmi les principaux facteurs, citons l'activité relative en fonction du pH, la température, le K_m ou constante de Michaelis, la sensibilité aux protéases endogènes et la stabilité dans l'aliment et pendant la fabrication de celui-ci. Il a été montré que la phytase *S. pombe* possédait une activité relative en fonction du pH supérieure aux phytases *A. niger* et *P. lycii*, permettant une activité en continu pour des valeurs de pH de 2.0 à 5.5 (Kumar et al., 2003). D'autre part, la sensibilité *in-vitro* des phytases *S. pombe*, *A. niger* et *P. lycii* a aussi été évaluée (Kumar et al., 2003). Les résultats ont démontré une plus grande résistance de *S. pombe* à l'inactivation par les protéases endogènes du tube digestif de l'animal.

CONCLUSION

L'utilisation de phytase exogène dans les aliments des volailles permet une réduction des rejets en phosphore tout en maintenant ou en améliorant les performances de croissance et la robustesse des os. La 6-phytase issue d'*E. coli* et produite par *S. pombe* s'avère plus efficace que les phytases fongiques actuellement sur le marché. Des études récentes ont aussi permis une meilleure compréhension d'autres effets positifs associés à l'utilisation de phytase exogène chez les oiseaux d'élevage, tels que la diminution des pertes endogènes en acides aminés et en sodium (Cowieson et al., 2004 et 2006; Ravindran et al., 2006). Toutefois, des travaux complémentaires seront nécessaires afin de mieux comprendre le rôle de la phytase dans l'amélioration de la disponibilité d'autres minéraux et son implication dans les modifications de la balance ionique.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Cowieson A.J., Acamovic T., Bedford M.R., 2004. Brit. Poul. Sci., (45), 101-108
- Cowieson A.J., Acamovic T., Bedford M.R., 2006. Poul. Sci., (85), 1389-1397
- Hocking P.M., Robertson G.W., Nixey C., 2002. Brit. Poul. Sci., (43), 607-614
- Kumar V., Miasnikov A., Sands J.S., Simmins P.H., 2003. Proceedings Australian Pig Science Association, p164
- Lescoat P., Travel A., Nys Y., 2005. INRA Prod. Anim., 18(3), 193-201
- Li Y.C., Ledoux D.R., Veum T.L., Raboy V., Ertl D.S., 2000. Poul. Sci., (79), 1444-1450
- Ravindran V., Morel P.C.H., Partridge G.G., Hruby M., Sands J.S., 2006. Poul. Sci., (85), 82-89

Tableau 1. Performances de croissance (1-21 jours), minéralisation osseuse (21 jours) et rétention du phosphore et du calcium (15-19 jours) de dindons nourris avec un aliment à base de maïs/soja

Phytase et dose FTU/kg d'aliment	Gain de poids, g	Consommation d'aliment, g	Indice de consommation	Taux de cendres des orteils %	Taux de cendres des tibias %	Rétention de phosphore %	Rétention de calcium %
Témoin	298	562	1.89	8.68	31.6	37.1	27.0
S. pombe 250	440	724	1.65	14.74	41.6	52.7	36.1
S. pombe 500	482	769	1.60	14.64	43.2	52.0	36.8
S. pombe 1000	478	756	1.58	14.77	42.9	52.6	39.1
A. niger 250	374	652	1.75	12.87	37.1	45.0	37.2
A. niger 500	416	700	1.68	13.61	40.1	50.6	37.4
A. niger 1000	438	724	1.66	14.70	42.2	51.2	38.6

Contraste	Probabilité						
T vs phytases	***	***	***	***	***	***	***
Sp vs An 250	***	**	NS	***	***	**	NS
Sp vs An 500	***	**	NS	***	**	NS	NS
Sp vs An 1000	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS

T : témoin

Sp : Schizosaccharomyces pombe

An : Aspergillus niger

*** P<0.001

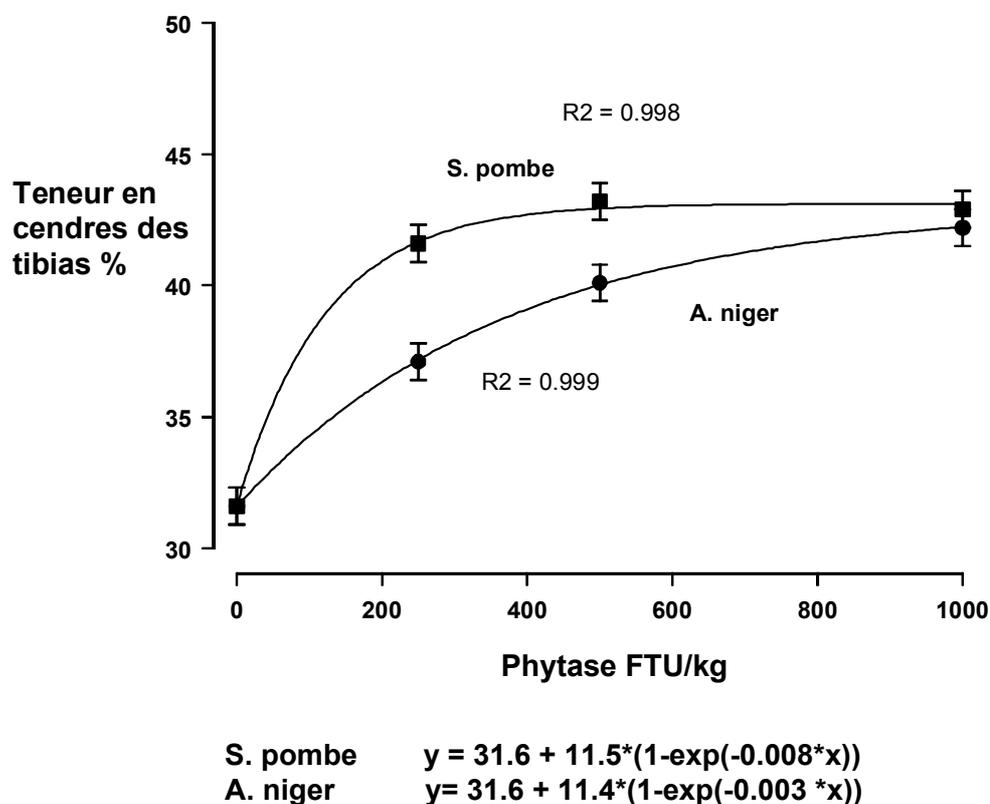
** P<0.01

NS non significatif

S. pombe: Phyzyme XP

A. niger : Natuphos

Figure 1. Effet des phytases *S. pombe* et *A. niger* sur la teneur en cendres des tibias de dindons âgés de 21 jours



EFFETS DE LA DURETE ET DE LA VISCOSITE SPECIFIQUE SUR LA VALEUR ALIMENTAIRE DU BLE CHEZ LE POULET DE CHAIR

Métayer Jean Paul ¹, Vilariño Maria ², Gaüzère Jean Marc ³, Skiba Fabien ⁴

¹ ARVALIS-Institut du végétal, 91720 Boigneville, ² ARVALIS-Institut du végétal, Pouline, 41100 Villerable, ³ CENTRALYS, 9-11 Avenue Arago, 78191 Trappes Cedex
⁴ ARVALIS-Institut du végétal, 21 chemin de Pau 64121 Montardon

RÉSUMÉ

Onze lots de blé tendre de variétés pures ont été testés chez le poulet. Dans un premier essai (essai 1), nous avons étudié l'effet de la dureté et de la viscosité spécifique (VS) sur la valeur énergétique (EMAN) et la digestibilité de l'amidon de sept variétés choisies de façon à constituer des plages de variation les plus étendues possibles pour ces deux critères. La dureté variait de 9 à 71 et la VS de 1,3 à 9,2 ml/g MS. Dans une deuxième série d'essais, nous avons de nouveau testé l'effet de la dureté en interaction avec la VS de quatre lots de blé (VS plus faibles que dans l'essai 1) sur la valeur EMAN et la digestibilité de l'amidon chez le poulet (essai 2), le coq adulte (essai 3) et sur les performances de croissance du poulet standard en conditions d'élevage (essai 4). La dureté variait de 27 à 77 et la VS de 1,8 à 3,1 ml/g MS.

Chez le poulet, l'EMAN des blés est en moyenne de 3348 et 3183 kcal/kg MS respectivement pour les essais 1 et 2. L'EMAN du blé n'est corrélée ni avec la VS, ni avec la dureté du blé. Néanmoins, les valeurs les plus faibles sont obtenues avec les blés les plus visqueux. La digestibilité de l'amidon est indépendante de la dureté et de la VS. Dans l'essai 1, elle est corrélée négativement avec le diamètre médian des particules de blé broyé ($r=-0,37$, $p<0,01$). La digestibilité de l'énergie est corrélée positivement avec la digestibilité de l'amidon ($r=0,80$ et $0,94$, $p<0,001$ respectivement pour les essais 1 et 2). Chez le coq adulte, les 2 blés de type soft présentent des EMAN légèrement supérieures (+ 1,6% en moyenne) à celles des blés de type médium hard ou hard.

La dureté et la VS des 4 lots de blé utilisés dans des formules de type industriel (essai 4) n'ont pas dégradé l'EMAN des aliments et les performances de croissance des poulets n'ont pas été pénalisées.

En conclusion, dans ces essais, malgré une plage de variation importante de la dureté et de la VS des blés, ces paramètres n'expliquent pas les différences d'EMAN et de digestibilité de l'amidon des blés. L'absence d'effet de la dureté des blés sur les performances de croissance des poulets corrobore ces résultats. Cette étude ne nous a pas permis de valider l'équation de prédiction de l'EMAN des blés en fonction de la dureté et de la VS (Skiba et al., 2003). Nous avons observé un effet négatif de la taille des particules sur la digestibilité de l'amidon.

ABSTRACT

Eleven batches of wheat were tested in young chicken. In trial 1, we studied the effect of hardness and WEV on energy value (AMEn) and starch digestibility of seven wheat cultivars selected to obtain a wide variation for these criteria. Hardness varied from 9 to 71 and WEV from 1.3 to 9.2 ml/g DM. In a second series of trials, we tested the effect of hardness in interaction with the WEV of four wheat cultivars (WEV lower than in trial 1) on AMEn and starch digestibility for chicken (trial 2) and adult cockerel (trial 3), and on the growth performances of broiler chickens (trial 4). Hardness varied from 27 to 77 and WEV from 1.8 to 3.1 ml/g DM.

AMEn of wheat is on average of 14.0 and 13.3 MJ/kg DM respectively for trial 1 and 2. No significant effect of hardness and WEV was observed for AMEn and starch digestibility of wheat. Nevertheless, the lowest values were obtained with the highest WEV. In trial 1, starch digestibility was correlated negatively with the mean particle size ($r=-0.37$, $p<0.01$). Energy digestibility was correlated with starch digestibility ($r=0.80$ and 0.94 , $p<0.001$ respectively for trials 1 and 2).

In trial 3, in adult cockerel, AMEn of soft wheat were slightly higher (+ 1.6%) than those of medium or hard wheat.

In trial 4, AMEn of industrial diets and the growth performances of chickens were not penalized by hardness or WEV. No significant correlation was observed between hardness and FCR.

In conclusion, these results showed that AMEn and the growth performances of chickens are not degraded by hardness or WEV of wheat. Thus, these results did not confirm those obtained by Skiba et al. (2003) who found a negative effect of hardness and WEV on the AMEn of wheat. In trial 1, we found a negative effect of mean particle size on starch digestibility of wheat.

INTRODUCTION

Les résultats d'essais précédents, ont permis de mettre en évidence d'une part, qu'une augmentation de la viscosité spécifique (VS) du blé est associée à une diminution de l'EMAn et à une augmentation de la variabilité de celle-ci (Barrier-Guillot et al., 1998 ; Skiba et al., 1999) et d'autre part, qu'une augmentation de la dureté des blés est associée à une diminution de la digestibilité de l'amidon chez le poulet en croissance (Carré et al., 2003 ; Skiba et al., 2003). Par régression linéaire multiple, il a été possible d'établir une équation de prédiction de l'EMAn des blés en fonction de la dureté et de la VS (Skiba et al., 2003) qui sont deux critères indépendants et à déterminisme majoritairement génétique (Oury et al., 1998).

L'objectif de notre étude a été de confirmer l'effet négatif de ces deux paramètres et éventuellement de valider l'équation proposée. Pour cela, nous avons d'une part, mis en place deux essais de digestibilité sur jeunes poulets permettant de croiser les facteurs viscosité et dureté des blés afin d'étudier l'effet de ces facteurs sur la valeur énergétique et la digestibilité de l'amidon. Ces essais ont été complétés par une évaluation sur coqs adultes. D'autre part, un essai zootechnique a été conduit afin de valider ou invalider, en conditions d'élevage, l'effet de la dureté des blés en interaction avec la viscosité.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Digestibilité du blé chez le poulet de chair

Dans l'essai 1 réalisé en 2003, 7 lots de blé de variétés pures des récoltes 2001 et 2002 ont été testés. Ils ont été choisis en fonction de leur niveau de dureté et de leur VS, et de façon à ce qu'il y ait indépendance entre ces deux critères.

Dans l'essai 2 réalisé en 2004, 4 lots de blé de la récolte 2003 ont été testés. Leurs niveaux de VS étaient plus faibles que dans l'essai précédent afin que l'effet VS ne masque pas un éventuel effet dureté.

Dans ces deux essais, deux types d'aliments ont été fabriqués : un aliment témoin constitué de 95,3% d'un aliment dit « complémentaire » et de 4,7% d'un AMV (mélange minéral, vitaminique, acides aminés, anticoccidien) et des aliments expérimentaux contenant le complémentaire (45,3%), l'AMV (4,7%) et les blés à tester (50%). Le « complémentaire » est composé de 51,4% de maïs, 39,5% de tourteau de soja 48, 4,9% de gluten 60 et 4,2% d'huile de soja. Les matières premières ont été broyées à l'aide d'un broyeur à marteaux FAO type TITAN 2000 (3000 tr/mn, 64 m.s⁻¹) à la grille de 2 mm de diamètre. Les aliments ont ensuite été granulés à la vapeur (presse La Meccanica, type CLM200, filière de 2,5 mm x 35 mm, température des granulés en sortie de filière voisine de 65°C).

Les études ont été conduites sur des poulets mâles de souche ISA JV15 dans l'essai 1 (9 répétitions par traitement) et Ross PM3 dans l'essai 2 (8 répétitions par traitement). Les bilans digestifs ont été effectués de J20 à J23 (17 heures de jeûne puis 55 heures d'alimentation à volonté et 17 heures de jeûne) avec une collecte journalière des excréta lors des 72 dernières heures. A J24, les poulets ont été euthanasiés et leur contenu jéjunal a été prélevé et centrifugé afin de mesurer la viscosité jéjunale (VJ) du surnageant. Les fientes ont été lyophilisées, broyées puis analysées par poulet. L'EMAn et la digestibilité de l'amidon des blés ont été calculées par différence avec celles de l'aliment témoin.

1.2. Valeur énergétique du blé chez le coq adulte

Les 4 lots de blé testés chez le coq adulte sont les mêmes que ceux testés dans l'essai 2 chez le poulet. Les aliments présentés en farine étaient composés de 97% de blé et de 3% d'AMV (1,0% prémix + 1,3% Phosphate bicalcique + 0,7% CaCO₃) et sans additif anticoccidien. Les matières premières ont été broyées à l'aide d'un broyeur à marteaux ECMA type BR84 (2900 tr/mn, 58 m.s⁻¹) à la grille de diamètre 4 mm.

Les animaux utilisés étaient des coqs adultes intacts de souche ISABROWN, âgés de 26 semaines (8 répétitions par traitement). Ils ont reçu leurs aliments ad libitum. Le bilan digestif a été effectué par collecte journalière des excréta les 72 dernières heures (48 heures d'alimentation à volonté et 24 heures de jeûne à la fin du bilan), après une période d'adaptation à l'aliment de 65 heures et une mise à jeun de 24 heures avant le début du bilan. Les fientes ont été lyophilisées, broyées puis analysées par coq et l'EMAn a été mesurée.

1.3. Essai performances de croissance

Le bâtiment expérimental de Centralys est situé près de Redon (56), dans une zone à forte densité d'élevages. Une partie du bâtiment (400 m²) est aménagée avec 36 cases de 5 m² pour les traitements expérimentaux. 3240 poulets de souche Ross PM3 sont répartis en 36 cases, soit 90 poulets par case avec une densité de 18/m².

4 régimes (iso-proteine, iso-énergie) ont été testés (9 répétitions par traitement) pour chaque période d'élevage à partir des mêmes lots de blés que ceux utilisés dans les essais 2 et 3, sans ajout d'enzymes. Les taux d'incorporation du blé sont de 42, 52, 55 et 60% respectivement en périodes démarrage, croissance, finition et retrait. Les matières premières ont été broyées à l'aide d'un broyeur à marteaux Gondard à la grille de diamètre 6 mm (3000 tr/mn, 64 m.s⁻¹). Les aliments ont ensuite été granulés à la vapeur à l'aide d'une presse Gondard, type V300, filière de 2,5 x 35 mm.

Les animaux ont été allotés en fonction de leur poids à J0 et de leur sexe et répartis dans les parcs de

manière à obtenir le même poids moyen par régime à J0. Les animaux ont ensuite été pesés à chaque transition alimentaire (10, 21, 28 et 37 jours d'âge) et la consommation d'aliment a été contrôlée par parc. La digestibilité des aliments croissance a également été mesurée simultanément chez le poulet (essai 2).

1.4. Méthodes d'analyses

La dureté des blés a été déterminée par spectrophotométrie de réflexion dans le proche infra rouge (méthode AACC 39-70 A). La viscosité spécifique (VS) a été mesurée selon la méthode NF V03-749 (AFNOR, 1999). Le diamètre médian (d50) des particules de blé broyé et avant granulation est calculé par la méthode ASAE S 319.2. La teneur en protéines (Nx6,25) des aliments et des blés a été déterminée selon la méthode DUMAS NF V18-120 (AFNOR, 1997). La teneur en amidon des aliments et des fientes a été mesurée selon la méthode enzymatique NF V18-121 (AFNOR, 1997). Les parois insolubles dans l'eau ont été mesurées selon la méthode NF V18-111 (AFNOR, 1989). Les arabinoxylanes solubles (AX sol) ont été déterminés par CPG. Les teneurs en énergie brute des aliments et des excréta ont été mesurées à l'aide d'un calorimètre isopéribole C2000. La VJ a été mesurée selon la méthode décrite par Bedford et Classen (1993).

1.5. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées par analyse de variance à l'aide des logiciels StatBox 6.23 (Grimmer Soft) et STATVIEW 5.0 (SAS Institute Inc.).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Caractéristiques des blés

Les caractéristiques physiques et chimiques des 11 lots de blé testés sont présentées dans le tableau 1. Les duretés obtenues varient de 9 (extra soft) à 77 (hard) et les valeurs de VS de 1,3 à 9,2 ml/g MS. Quel que soit l'essai, on n'observe pas de relation entre ces deux critères, confirmant les résultats observés par Carré et al. (2005). La VS des blés est corrélée positivement avec la teneur en AX sol ($r=0,89$, $p<0,001$) et avec la VJ ($r=0,75$, $p<0,001$). On observe des résultats contradictoires entre la dureté des blés et le d50 des farines selon le diamètre de la grille du broyeur (2, 4 ou 6 mm). Bien que la même grille du broyeur (2 mm) et la même vitesse aient été utilisées dans les essais 1 et 2, le d50 des particules diffère sensiblement entre les 2 essais (respectivement 623 et 410 μm en moyenne). On n'observe pas de relation significative entre la dureté des blés et le d50 des farines broyées à la grille de 2mm et ceci quel que soit l'essai. Ces résultats confirment ceux de Piron et al.

(2005) mais sont en contradiction avec ceux rapportés par Carré et al. (2003) qui ont observés une corrélation positive entre ces deux critères. Dans l'essai 3, la relation entre la dureté et le d50 des farines broyées à la grille de 4 mm est non significative ($p=0,12$) mais en tendance, plus la dureté est élevée plus le d50 augmente. Dans l'essai 4, la relation entre la dureté et le d50 des farines broyées à la grille de 6 mm est non significative.

2.2. Digestibilité du blé chez le poulet de chair

En moyenne, les résultats de digestibilité de l'énergie et de l'amidon du blé sont supérieurs dans l'essai 1 par rapport à l'essai 2 (+5 % et +9 % respectivement pour l'EMAn et la digestibilité de l'amidon). Plusieurs auteurs (Ten Doeschate et al., 1993, Mignon-Grasteau et al., 2004, Péron et al., 2006) rapportent des variations de digestibilité de l'énergie selon l'origine génétique des poulets. En conséquence, l'interprétation des résultats a été effectuée par essai.

Dans l'essai 1, l'EMAn des 7 lots de blés est en moyenne de 3348 kcal/kg MS, proche de la valeur citée dans les tables INRA-AFZ, 2004 (3318 kcal/kg MS). Elle varie de 3129 à 3614 kcal/kg MS. La valeur énergétique (EMAn ou EMAn/EB) du blé n'est corrélée ni avec la VS ni avec la VJ, malgré des écarts de VS importants dans cet essai. Néanmoins les valeurs les plus faibles sont obtenues avec les blés les plus visqueux à l'exception de Valoris. De même, la digestibilité de l'énergie (EMAn/EB) des variétés visqueuses Brando et Aztec est également la plus faible mais aussi la plus variable. Ces résultats confirment ceux de Barrier-Guillot et al. (1998) et Skiba et al. (1999), qui associaient à une forte VS des blés une augmentation de la variabilité de la valeur énergétique. L'EMAn est corrélée positivement avec le rapport arabinose/xylose ($r=0,78$, $P<0,05$). L'absence dans cet essai, de corrélation significative entre la VS et l'EMAn des blés, pourrait s'expliquer par la présence dans les aliments d'un additif anticoccidien. Il semble en effet, d'après notre base de données, que les anticoccidiens quelle que soit leur nature, diminuent l'effet négatif de la VS sur l'EMAn des blés.

La dureté du blé, malgré une plage de variation importante, n'a pas eu non plus d'effet sur la valeur énergétique. De ce fait, on ne retrouve pas dans cet essai de prédiction satisfaisante de l'EMAn du blé en fonction de la VS et de la dureté contrairement à la relation citée par Skiba et al. (2003).

La digestibilité de l'énergie est corrélée positivement avec la digestibilité de l'amidon ($r=0,80$, $p<0,001$). La digestibilité de l'amidon est indépendante de la dureté et de la VS mais elle est corrélée négativement avec le d50 (figure 1) ($r=-0,37$, $p<0,01$). Cette relation s'explique principalement par la variété Brando qui présente la digestibilité de l'amidon la plus faible et la taille des particules la plus importante. Ces résultats,

sont en accord avec ceux observés par Carré et al. (2005). De plus, la digestibilité de l'amidon de cette variété est la plus variable, ce qui pourrait s'expliquer par une moins bonne digestion de l'amidon des particules grossières.

Dans l'essai 2, malgré des caractéristiques chimiques voisines et une plage de variation de la dureté assez importante (27 à 77), la valeur énergétique des 4 lots de blés est peu variable. Elle est en moyenne de 3183 kcal/kg MS. On n'observe pas de différence significative de la digestibilité de l'énergie entre les blés. La valeur énergétique du blé est indépendante de la VS (niveaux faibles de la VS dans cet essai) et de la dureté. Nous n'avons pas observé d'effet de la dureté du blé sur la digestibilité de l'amidon. Dans cet essai, la taille des particules est peu variable (46 µm entre les extrêmes) et n'a pas d'effet sur la digestibilité de l'amidon et de l'énergie du blé.

La digestibilité de l'énergie est corrélée positivement avec la digestibilité de l'amidon ($r=0,94$, $p<0,001$).

L'absence de différences significatives entre la digestibilité de l'énergie et de l'amidon et les caractéristiques des blés peut s'expliquer en partie par la variabilité importante de la réponse des poulets. Un nombre de répétitions par traitement plus élevé ou un bilan digestif sans période de jeûne auraient peut être permis de détecter des différences entre les blés.

2.3. Valeur énergétique du blé chez le coq adulte

L'EMAn des 4 lots de blé testés chez le coq adulte est en moyenne de 3473 kcal/kg MS, proche de la valeur citée dans les tables INRA-AFZ, 2004 (3433 kcal/kg MS). Les 2 blés de type soft (Claire et Hamac) ont des EMAn légèrement supérieures (+ 1,6 % en moyenne) à celles des blés de type médium hard (Toisondor) ou hard (Parador). La digestibilité de l'énergie du blé Claire (type soft) est légèrement mais significativement plus élevée ($p<0,001$) que celle des autres blés (79,6 vs 78,4 %). On n'observe pas d'effet significatif de la VS sur l'EMAn du blé, ce qui est habituel chez le coq, peu sensible à ce critère.

Les mesures sur coqs et poulets des même lots de blé, confirment que le coq adulte valorise mieux d'environ 9 % l'énergie du blé ($p<0,001$) que le poulet de chair en 4ème semaine d'âge.

2.4. Performances de croissance chez le poulet de chair en conditions d'élevage

Les performances de croissance des poulets sont rapportées dans le tableau 2. Dans cet essai, comme dans l'essai sur coqs, les blés testés étant à faible VS, la principale variable étudiée est la dureté des blés. Pendant la période démarrage de J0 à J10, on n'observe aucun effet significatif de la dureté sur la consommation d'aliment, le gain de poids (GMQ) et en conséquence sur l'indice de consommation (IC). Pendant la période croissance (J10 à J21) la consommation est en moyenne de 792 g/poulet. On

n'observe pas d'effet significatif de la dureté du blé sur la consommation d'aliment. L'IC est homogène entre les traitements, il est en moyenne de 1,46.

Pendant la période finition (J21 à J28), la consommation des poulets est en moyenne de 881 g/poulet. L'IC des poulets est en moyenne de 2,37. On n'observe pas de différence significative entre les traitements sur l'IC des poulets.

Pendant la période retrait (J28 à J37), la consommation diffère significativement entre les traitements ($p<0,02$). On peut noter une consommation légèrement plus faible (-2 %) avec les aliments à base de blé de type soft. Ces différences de consommation n'ont pas engendré de différences significatives des GMQ et des IC entre les traitements.

Sur l'ensemble de la période d'élevage, on n'observe pas d'effet significatif du type de blé sur les performances de croissance des poulets. L'IC est en moyenne de 1,85.

De plus, on n'observe pas d'effet de la dureté du blé sur la valeur énergétique ou sur la digestibilité de l'amidon des aliments croissance (tableau 2). Ces résultats corroborent ceux observés dans l'essai 4.

CONCLUSION

Les résultats de cette étude montrent que dans nos conditions expérimentales et malgré une plage de variation importante de la dureté et de la VS des blés, ces paramètres n'expliquent pas les différences de valeur énergétique et de digestibilité de l'amidon des blés, et ceci quel que soit l'essai.

Ces résultats ne nous ont donc pas permis de valider l'équation de prédiction de l'EMAn des blés en fonction de la dureté et de la VS (Skiba et al., 2003). L'absence d'effet de la dureté des blés sur les performances de croissance des poulets en conditions d'élevage, corrobore ces résultats. Par contre, l'EMAn est bien corrélée avec la digestibilité de l'amidon et une partie de la variabilité de celle-ci est expliquée par la taille des particules.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AFNOR. Association Française de Normalisation. Méthodes d'analyses des aliments des animaux.
- Barrier-Guillot B., Grosjean F., Métayer J.P., Gâtel F., 1998. Proceedings 10th European Poultry Conference, 369-374.
- Bedford M., Classen H.L., 1993. Poultry Sci., 72, 137-143.
- Carré B., Idi A., Maisonnier S., Melcion J.P., Oury F.X., Gomez J. and Pluchard P., 2002. Brit. Poult. Sci., 43, 404-415.
- Carré B., Muley N., Guillou D., Signoret C., Oury F.-X., Gomez J., 2003. 5èmes Journées de la Recherche Avicole, Tours, 26-27 mars 2003, 125-128.

- Carré B., Muley N., Gomez J., Oury F.-X., Laffitte E., Guillou D. and Signoret C., 2005. *Brit. Poult. Sci.*, 46, 66-74.
- INRA-AFZ, 2004. D. Sauvant, J.M. Pérez, G. Tran (eds), *Seconde Edition révisée*, INRA, Paris, 301p.
- Mignon-Grasteau S., Muley N., Bastianelli D., Gomez J., Peron A., Sellier N., Millet N., Besnard J., Hallouis J.M., Carre B., 2004. *Poultry Sci.*, 83, 860-867.
- Oury F.X., Carré B., Pluchard P., Nys Y., Leclercq B., 1998. *Agronomie*, 18, 139-150.
- Peron A., Gomez J., Mignon-Grasteau S., Selier N., Derouet M., Juin H., Carre B., 2006. *Poultry Sci.*, 85, 462-469.
- Piron F., Beckers Y., Ounissi K., Lenartz J., Théwis A., 2005. 6èmes Journées de la Recherche Avicole, St Malo, 30-31 mars 2005, 277-281.
- Skiba F., Barrier-Guillot B., Métayer J.P., Grosjean F., 1999. 3èmes Journées de la Recherche Avicole, St Malo, 23-25 mars 1999, 81-84.
- Skiba F., Barrier-Guillot B., Métayer J.P., 2003. 5èmes Journées de la Recherche Avicole, Tours, 26-27 mars 2003, 129-132.
- Ten Doeschate R.A.H.M., Scheele C.W., Schreurs V.V.A.M., Van Der Klis J.D., 1993. *Brit. Poult. Sci.*, 34, 131-146.

Tableau 1. Caractéristiques des 11 lots de blé (g et kcal/kg MS)

Essai	Variété	MS	MAT	CB	Parois	Amidon Ewers	MGB	MM	AX sol CPG	VS ml/g MS	PS kg/hl	PMG g MS	Dureté N.H.S.	d50 µm	VJ cP	EMAn poulet	Dig amidon poulet	EMAn coq
1	Altria	850	114,6	29,1	126,6	703,5	23,0	17,0	5,8	2,0	76	44	9	609	5,8	3284	96,0	
	Valoris	865	114,1	25,9	110,6	696,9	24,1	16,4	9,4	9,2	77	41	25	609	11,0	3374	97,0	
	Claire	862	143,3	26,4	118,0	691,3	22,7	17,4	3,9	1,9	78	34	34	620	6,2	3454	95,2	
	Brando	867	113,8	27,3	122,5	697,6	21,3	15,9	7,2	8,4	73	39	45	692	6,6	3129	90,8	
	Isengrain	860	118,5	26,5	106,9	710,2	21,5	15,9	3,2	1,3	81	38	49	628	5,9	3614	98,0	
	Aztec	855	118,7	33,1	110,1	700,3	24,4	15,01	7,0	7,6	80	44	54	568	9,6	3195	97,0	
	Autan	865	120,8	24,7	119,0	676,4	17,1	17,6	5,9	2,5	82	43	71	633	7,7	3384	99,1	
	<i>Sm</i>														0,7	74	1,1	
2-3	Claire	863	123,8	27,6	107,5	711,8	24,5	14,9	4,0	1,8	82	37	38	399	4,0	3193	88,4	3517
	Toisondor	864	123,3	31,5	115,4	709,9	24,2	16,1	3,6	2,4	84	35	59	405	3,8	3161	86,8	3453
	Hamac	869	131,3	27,8	104,2	709,1	23,8	16,9	4,4	3,1	77	36	27	395	5,0	3213	87,9	3485
	Parador	878	122,4	25,4	116,9	701,8	23,3	14,2	4,0	2,7	86	35	77	441	4,0	3164	85,5	3436
		<i>Sm</i>														0,3	118	2,9

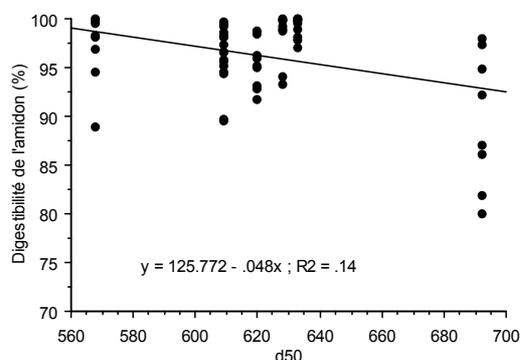
Sm : écart-type de la moyenne poolée

Tableau 2. Performances de croissance des poulets (essai 4) (n=9)

Variété	Claire	Toisondor	Hamac	Parador		
VS	1,8	2,4	3,1	2,7	Proba sous H0	ETR
Dureté	38	59	27	77		
Traitement	T1	T2	T3	T4		
Période J0 - J37						
Poids J0 (g)	40	40	40	40	-	-
Poids J37 (g)	1899	1922	1901	1875	NS	46
Consommation (g)	3449	3472	3419	3407	NS	91
GMQ (g/j)	50,2	50,9	50,3	49,6	NS	1,2
I. C.	1,856	1,845	1,837	1,857	NS	0,031
EMAn (kcal/kg MS)	2978	3029	3070	3069	NS	85
EMAn/EB (%)	67,3	68,2	68,9	69,1	NS	1,9
Dig amidon (%)	93,3	96,4	94,5	95,8	NS	3,0

ETR = écart-type résiduel

Figure 1. Effet de la taille moyenne des particules (µm) du blé broyé sur la digestibilité de l'amidon (valeurs individuelles essai 1)



REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le personnel de l'unité de fabrication d'aliment, de la station expérimentale de Villerable et du laboratoire d'analyses biochimiques de ARVALIS – Institut du végétal et M. LUCAS (éleveur) pour la réalisation de ces essais.

LA VALEUR NUTRITIONNELLE DES CO-PRODUITS DES INDUSTRIES DU BIOETHANOL : UNE VARIABILITE A CONSIDERER

Gady Cécile, Cozannet Pierre, Mori Agnès, Geraert Pierre-André, Dalibard Pierre

Adisseo France SAS, 03600 COMMENTRY

RÉSUMÉ

Même s'il est difficile d'anticiper les volumes de drêches produits dans les années à venir, ainsi que les conséquences de leur émergence sur le marché des matières premières, il va sans dire qu'elles modifieront la donne.

Jusqu'à maintenant, peu d'informations sont disponibles quant à leur valeur nutritionnelle et les possibilités d'incorporation dans les régimes alimentaires pour monogastriques.

Les travaux expérimentaux présentés qualifient différentes origines de drêches de blé et de maïs pour leur composition élémentaire, les acides aminés totaux et coefficients de digestibilité pour les volailles. Ils mettent en évidence différentes qualités de drêches. Les teneurs en lysine et thréonine totale des drêches de blé, de même que celles de l'ensemble des acides aminés totaux à l'exception de la cystine des drêches de maïs montrent une variabilité importante. Les deux types se caractérisent par de faibles digestibilités en lysine (37% et 61%) comme en cystine (56% et 64%) associées à de fortes variabilités.

La technique de la spectroscopie dans le proche infrarouge a parallèlement fait l'objet de notre étude. L'étude de faisabilité montre que les calibrations NIRS (Near Infrared Reflectance Spectroscopy) expliquent respectivement plus de 95% et 80% de la variabilité mesurée en acides aminés totaux et digestibles (excepté la digestibilité du tryptophane, $R^2=0.66$). Ceci démontre le bon potentiel du NIRS à prédire ces paramètres.

ABSTRACT

As any growing industry, ethanol production is quickly evolving to optimize ethanol yield and increasing the associated production of co products such as Dried Distillers Grains with Solubles (DDGS). Actually, it is difficult to foresee what will be the multiple implications. However, because DDGS is becoming more and more available as a feed ingredient, it will have an impact on the worldwide market. Up to now, very limited information is available about nutrient contribution of DDGS in monogastric diets.

The composition of several corn and wheat DDGS samples was analysed for proximate and total amino acids and evaluated for digestible amino acids with caecotomized cockerels. Nutritional measurements ranged from low and standard to high protein DDGS. Important variations were observed among the total lysine and threonine of the wheat DDGS and among all the total amino acids of the corn DDGS with the exception of total cystine. Both wheat and corn DDGS showed low lysine digestibilities (37% and 61%) and low cystine digestibilities (56% and 64%) associated to high variations.

The NIRS (Near Infrared Reflectance Spectroscopy) has been also investigated. The feasibility study show that the NIRS calibrations explain more than 95 and 80% of the variation respectively for total and digestible amino acids (with the exception of tryptophan digestibility, $R^2=0.66$). These encouraging correlations observed using NIRS indicate that this tool is promising for the prediction of the nutritional variability measured among DDGS.

INTRODUCTION

Le maïs, mais également le blé, l'orge, le sorgho, le seigle et, dans une moindre mesure, l'avoine sont transformés pures ou la plupart du temps en mélange pour la fabrication d'alcool. Les phases de broyage, cuisson, fermentation et distillation se succèdent jusqu'à séparation de l'alcool et du résidu. La phase liquide résiduelle est déshydratée "en solubles de distillerie", elle correspond aux plus petites particules et aux levures. La phase solide résiduelle forme une drêche qui sera déshydratée. Ces deux phases sont le plus fréquemment présentées en mélange et communément appelées "drêches" correspondant à l'appellation anglaise "dried distillers grains with solubles". Les drêches de maïs, de blés et d'orges sont les coproduits majoritaires de l'industrie du bioéthanol, pôle d'activité actuellement en plein essor (Whitney, 2005). Elles sont aujourd'hui en grande majorité valorisées en alimentation des ruminants. Comme la plupart des co-produits, elles présentent des variations de leur composition chimique en fonction des procédés mis en œuvre (Spiehs et al., 2002 ; Belyea et al., 2006). Ces variations s'amplifient d'autant plus dans le cas des drêches qu'elles sont issues de procédés industriels encore évolutifs mais qui visent aujourd'hui à stabiliser leur qualité (Raush, 2006). De récentes études (Batal et al., 2006 ; Fastinger et al., 2006a ; Stein et al., 2006 ; Fastinger et al., 2006b) font état de valeurs de digestibilité acides aminés et énergie essentiellement de drêches de maïs en monogastriques. Ces données sont quasiment inexistantes sur drêches de blé (Nyachoti, 2005). L'objectif premier de la présente étude vise à tenter de définir la valeur nutritionnelle de certaines drêches de blé et de maïs, d'en identifier la variabilité et de montrer le potentiel du NIRS (Near Infrared Reflectance Spectroscopy) comme outil de prédiction de cette variabilité.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Technique NIRS

Le proche infrarouge (800-2500 nm) est la première plage spectrale en relation avec la vibration des molécules. La technique se base sur le principe d'absorption des rayonnements infrarouges par la matière organique (Van Kempen, 2001). Un échantillon ainsi irradié peut absorber partiellement ou sélectivement ce rayonnement. Cette absorption est caractéristique des liaisons chimiques et physicochimiques de l'échantillon analysé. Les applications quantitatives développées à partir de cette technique passent par l'établissement de modèles mathématiques (ou calibrations) qui

permettent de relier les spectres NIRS à des mesures de références (Bertrand et al., 2000). La région du proche infrarouge jouxte le visible (400-800 nm) qui permet aussi de caractériser de nombreuses molécules présentant des doubles liaisons conjuguées ainsi qu'évidemment la couleur des échantillons analysés. Certains spectromètres rendent possible une double acquisition dans ces régions (visible et proche infrarouge).

1.2. Matières premières

Les drêches recueillies ont été broyées sur une grille de 1mm puis scannées à l'aide d'un NIRSystem 6500 (FOSS, Suède), ce qui, comme décrit précédemment, a permis de les analyser à la fois dans le visible et le proche infra-rouge. Parallèlement, les échantillons ont été analysés pour leurs teneurs en matières azotées totales (MAT) par la méthode Kjeldahl. Sur la base de ces deux caractérisations (spectres d'absorbances dans la région 400 à 2500nm et MAT), les drêches ont été classées par Analyse en Composante Principale afin de retenir celles présentant le plus de variabilité. Sept drêches de blé originaires d'Allemagne, de France et de Finlande, de même que huit drêches de maïs provenant des Etats-Unis, Chine, Finlande et Espagne, ont ainsi été retenues comme support à l'étude. Chacune des quinze drêches est aussi analysée pour sa composition élémentaire en humidité, matières grasses, cellulose brute et matières minérales et pour sa concentration en acides aminés totaux (JEOL, AMINOTAC JLC 500/V).

1.3. Schémas expérimentaux

Les mesures des digestibilités des acides aminés ont été réalisées sur modèle coqs cœcextomisés (3 groupes de 4 coqs logés en cage individuelle, soit 12 répétitions par régime) (Green et al., 1987). Les pertes endogènes en acides aminés ont précédemment été déterminées en évaluant un régime protéoprive sur la base du même schéma expérimental. Les animaux ont été alimentés par gavage humide avec une pâtée composée de chacune des drêches testées et complétée par de l'amidon de blé permettant d'obtenir un niveau d'azote de 18% (Green et al., 1987). Les excréta, collectés jusqu'à 48h après le gavage, ont été analysés par la méthode TERPSTRA (Terpstra et de Hart, 1974). Les résultats corrigés des pertes endogènes sont donc exprimés en coefficient de digestibilité iléale réelle.

1.4. Modélisation NIRS

Les modèles mathématiques ou calibrations NIRS ont été développés sur la base de ces points de

référence acides aminés totaux et coefficients de digestibilité en acides aminés. Les spectres NIRS de la base de données sont préalablement soumis à des dérivations d'ordre 1 ou d'ordre 2 afin d'optimiser l'information utilisée dans les modèles de régression des moindres carrés. Les performances des calibrations ont été évaluées en validation croisée.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Drêches de blés

Les résultats obtenus sur drêches de blé sont présentés dans le tableau 1. La variabilité mesurée est classifiée sur la teneur en protéines et distingue une drêche à faible teneur en protéines des autres de catégorie standard (28.3 vs 38.3 % MS). La composition élémentaire des drêches de type standard montre une variabilité importante pour la cellulose et les matières minérales comme l'illustrent les coefficients de variation (CV) respectifs (16.7 et 11.0%) et dans une moindre mesure pour la protéine (6.7%). Les taux d'humidité mesurés varient du simple au double (de 6.4 à 13.9%) parmi les six drêches produites en France et en Allemagne, ce qui explique le CV de 27.7%. De la même façon, la variabilité la plus importante en acides aminés totaux s'observe sur la lysine, la thréonine et le tryptophane (CV respectifs de 18.4, 21.1 et 10.3%).

La variabilité ici décrite n'est pas attribuable à la simple provenance des drêches (Allemagne et France). Elle reflète plus des particularités propres à chacun des sites de production. D'autant plus que les drêches sont composées d'un mélange du résidu de distillerie aux solubles qui se fait en proportions variables selon les sites.

Les digestibilités de la lysine et de la cystine sont faibles et associées à une variabilité importante (respectivement $36.7 \pm 29.3\%$ et $56.3 \pm 10.3\%$), ce qui semble témoigner de coproduits majoritairement affectés par les procédés de séchage (Cromwell et al., 1993) et les changements de température qui se succèdent au cours du procédé.

2.2. Drêches de maïs

Les résultats obtenus sur drêches de maïs sont présentés dans le tableau 2. De même que précédemment la variabilité mesurée est classifiée sur la teneur en protéines. Le tableau 2 distingue ainsi des drêches de maïs de forte, standard et faible teneur protéique. Les différences sont importantes ; les valeurs de MAT varient de 26.3 à 45 % MS. Les drêches de type standard présentent une variabilité importante en protéine, matière grasse, cellulose et matières minérales (CV respectifs de 9.0, 30.4, 27.2 et 14.9%). Dans cette même catégorie les teneurs en

lysine, méthionine et tryptophane montrent des variabilités importantes (CV respectifs de 19.3, 17.0 et 11.5%). Les niveaux d'acides aminés ici présentés sont cohérents avec ceux rapportés par Batal et al. (2006) et Parsons et al. (2006). Les drêches de maïs à fortes teneurs en MAT résultent de modifications en amont du process qui visent à retirer le germe et le péricarpe (Martinez et al., 2005). Nos résultats montrent que les teneurs en lysine et méthionine totales tendent à augmenter avec la teneur en MAT. Les différences entre les drêches de faibles et fortes teneurs en MAT sont respectivement de l'ordre de 0.19 et 0.43 points pour la lysine et la méthionine. Ces tendances ne se vérifient pas pour les teneurs en cystine, thréonine et tryptophane pour lesquelles les différences inter catégories sont moindres. Le recyclage des solubles de distillerie en fin de process et leur rajout en proportions variables aux drêches pourraient être une explication à ces tendances.

Les différences de qualités s'accroissent lorsque l'on considère les résultats de digestibilité acides aminés. La lysine et la cystine présentent les digestibilités les plus faibles et sont aussi caractérisées par la variabilité la plus importante comme le montrent les résultats sur les drêches de maïs standard (CV respectifs de 12.2 et 11.6%). Cependant ces digestibilités sont celles qui sont les plus améliorées (respectivement de +16.6 et de +15.3 points) lorsque l'on considère les drêches de maïs à forte teneur en MAT en comparaison à leurs homologues standards.

Les conditions de séchage au cours du procédé semblent ici aussi être une explication possible à la faible digestibilité de la lysine. Cette hypothèse se vérifie d'autant plus que nos résultats de digestibilité lysine et cystine sont respectivement de l'ordre de -14.9 et -12.4 et de -9.9 et -12.6 points de digestibilité en référence aux mesures de Batal et al., 2006 et Parsons et al., 2006 alors que les digestibilités des autres acides aminés étudiés sont du même ordre.

2.3. Modélisation NIRS

Compte tenu du nombre d'échantillons testés, les calibrations portent sur l'ensemble des drêches de blé et de maïs évaluées. La base combinant les deux types de drêches montre cependant une distribution équilibrée pour la majorité des paramètres étudiés (Figure 1). Les modèles expliquent plus de 95% de la variabilité mesurée pour l'ensemble des acides aminés totaux calibrés. Les erreurs associées aux modèles varient de 2.03 à 3.89% à l'exception de la lysine totale (5.58%). La validation croisée confirme ces observations. A l'exception de la digestibilité du tryptophane (66%), les modèles et les validations croisées expliquent plus de 80% de la variabilité mesurée en digestibilité des acides aminés. Les erreurs associées aux modèles varient

de 1.63 à 5.88% avec une erreur plus forte sur la prédiction de la digestibilité de la lysine. D'un point de vue général, les drêches de maïs à forte teneur en MAT n'ont pas d'effet sur les performances des calibrations excepté pour la prédiction de la lysine totale et digestible. L'information obtenue dans le visible explique majoritairement les modèles de prédictions de l'ensemble des acides aminés totaux et de la digestibilité lysine et méthionine. Ces résultats corroborent et précisent les observations de Fastinger et al. (2006) et Fastinger et Mahan (2006) corrélant la couleur sombre de drêches de maïs à des digestibilités lysine de 10 à 15% plus faibles chez le porc. Ils confirment aussi les investigations de Batal et al. (2006) corrélant la couleur de drêches de maïs à leur teneur en acides aminés digestibles. Comme expliqué précédemment, même si plusieurs de nos modèles utilisent principalement l'information obtenue dans le visible, ils ne montrent pas de différences significatives quant à leurs performances lorsque seule l'information NIR est utilisée. De plus, à l'exception des digestibilités lysine et méthionine, les autres modèles bénéficient significativement de l'information mesurée dans la région du proche infrarouge.

CONCLUSION

L'ensemble de ces travaux montre que les drêches sont des coproduits variables et qui présentent notamment une faible digestibilité de la lysine et de la cystine. La variabilité comme la qualité nutritionnelle sont fortement impactées par des particularités de procédés de fabrication du bioéthanol en constante évolution. Les résultats obtenus sur drêches de maïs montrent que la qualité nutritionnelle du coproduit généré devient une préoccupation importante de l'industrie du bioéthanol. La qualification nutritionnelle des drêches est une étape indispensable à leur valorisation en nutrition animale. A ce titre, l'étude

de faisabilité montre que le NIRS apparaît comme un outil prometteur de prédiction de la variabilité observée.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Batal A.B., Dale N.M., 2006. J. Appl. Poult. Res., (15), 89-93.
- Bertrand B., Dufour D., 2000. Sci. Tech. Agro., (20), 474-492.
- Belyea R.L., Clevenger T.E., Singh V., Tumbelson M.E., Raush K.D., 2006. Appl. Biochem. Biotechnol., (134), 113-128.
- Cromwell G.L., Herkelman K.L., Stahly T.S., 1993. J. Anim. Sci., (71), 679-686.
- Fastinger N.D., Latshaw J.D., Mahan D.C., 2006. Poult. Sci., (85), 1212-1216.
- Fastinger N.D., Mahan D.C., 2006. J. Anim. Sci., (84), 1722-1728.
- Green S., Bertrand S., Duron M., Maillard R., 1987. Br. Poult. Sci., (28), 631-641.
- Martinez C., Parsons C.M., Singh V., 2005. Poult. Sci., (84), 68-69.
- Nyachoti C.M., House, J.D., Slominski, B.A., Seddon, I.R., 2005. J. Sci. Food and Agric., (85), 2581-2586.
- Parsons C.M., Martinez C., Singh V., Radhakrishnan S., Noll S., 2006. In: Multi-State Poultry Nutrition and Feeding Conf.
- Raush K.D., Belyea R.L., 2006. Appl. Biochem. Biotechnol., (128), 47-86.
- Spiels M.J., Shurson G.C., Whitney M.H., 2002. J. Anim. Sci., (80), 2639-2645.
- Stein H.H., Gibson M.L., Pedersen C., Boersma M.G., 2006. J. Anim. Sci., (84), 853-860.
- Terpstra K., De Hart N., 1974. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr., (32), 306-320.
- Van Kempen T., 2001. World's Poult. Sci. J., (57), 29-48.
- Whitney M.H., Shurson G.C., Johnston L.J., Wulf D.M., Shanks B.C., 2006. J. Anim. Sci., (84), 3356-3363.

Figure 1. Calibration NIRS pour la protéine (g/100g de produit brut) des drêches de blés et de maïs

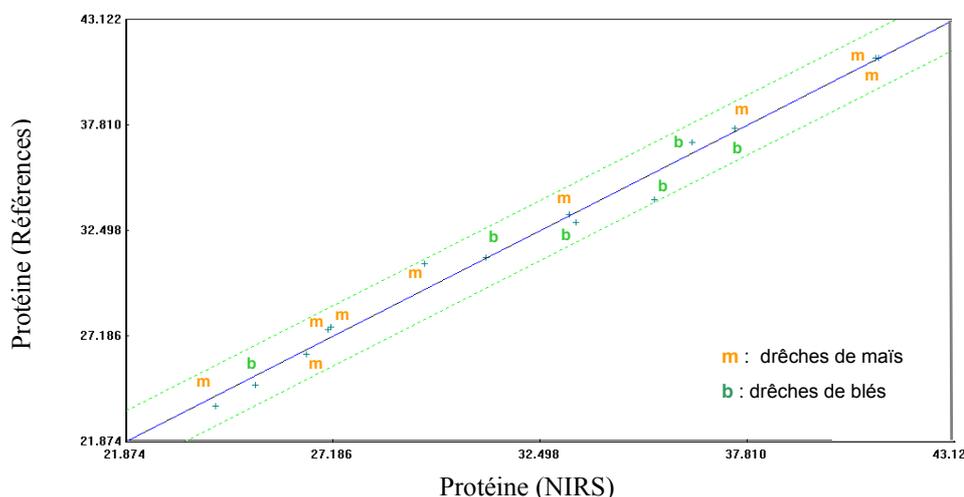


Tableau 1. Composition élémentaire (% MS), acides aminés totaux (MAT) et coefficients de digestibilité des acides aminés (%) de drêches de blé

	MAT standard ¹			Faible teneur en MAT ²
	Moyenne	ET	CV%	
Protéine	38.3	2.4	6.7	28.3
Matière grasse	6.2	0.3	4.1	11.6
Cellulose	7.7	1.3	16.7	10.4
Matières minérales	5.5	0.6	11.0	4.8
Profil en acides aminés totaux (% MAT)				
Lysine	1.71	0.30	18.4	1.70
Méthionine	1.38	0.04	3.2	1.50
Cystine	1.92	0.07	3.7	1.13
Thréonine	3.20	0.66	21.1	3.40
Tryptophane	1.01	0.10	10.3	0.73
Coefficients de digestibilité des acides aminés pour les volailles (%)				
Protéine	82.1	2.7	3.3	
Lysine	36.7	10.7	29.3	
Méthionine	79.6	3.8	4.8	
Cystine	56.3	5.8	10.3	
Thréonine	71.0	4.9	6.9	
Tryptophane	74.3	5.2	7.1	
Humidité (%)	10.8	3.0	27.7	12.8

¹ Six drêches de blé, origine Allemagne (3) et France (3)

² Une drêche de blé, origine Finlande

Tableau 2. Composition élémentaire (% MS), acides aminés totaux (% MAT) et coefficients de digestibilité des acides aminés (%) de drêches de maïs

	Forte teneur en MAT ¹	MAT standard ²		Faible teneur en MAT ³	
	Moyenne	Moyenne	ET	CV%	
Protéine	45.0	32.3	2.9	9.0	26.3
Matière grasse	10.1	11.5	3.5	30.4	9.8
Cellulose	9.3	11.4	3.1	27.2	8.4
Matières minérales	2.2	4.5	0.7	14.9	5.4
Profil en acides aminés totaux (% MAT)					
Lysine	2.56	2.48	0.48	19.3	2.37
Méthionine	2.00	1.91	0.33	17.0	1.57
Cystine	1.87	1.91	0.08	4.2	1.82
Thréonine	3.68	3.59	0.30	8.3	3.64
Tryptophane	0.69	0.87	0.10	11.5	0.80
Coefficients de digestibilité des acides aminés pour les volailles (%)					
Protéine	90.1	84.2	2.1	2.8	79.8
Lysine	77.5	60.9	6.7	12.2	44.6
Méthionine	91.9	86.5	3.9	5.0	81.4
Cystine	79.1	63.8	6.6	11.6	45.9
Thréonine	81.3	73.0	3.0	4.6	61.8
Tryptophane	78.2	73.2	3.9	5.9	64.7
Humidité (%)	8.4	9.9	1.1	11.5	10.0

¹ Deux lots de drêche de maïs, origine US

² Cinq drêches de maïs, origine US (3), Chine (1) et Finlande (1)

³ Une drêche de maïs, origine Espagne

**DETERMINATION DU BESOIN EN PROTEINES DE LA CANETTE MULARD EN
PHASE DE DEMARRAGE : EFFET SUR LA CROISSANCE ET LES REJETS
AZOTES**

**Baéza Elisabeth¹, Bernadet Marie-Dominique², Guy Gérard², Lessire Michel¹,
Carré Bernard¹**

¹ UR83 Recherches Avicoles, INRA Tours, 37380 NOUZILLY

² Unité Expérimentale sur les Palmipèdes à Foie Gras, INRA Artiguères, 40280 BENQUET

RÉSUMÉ

Cette étude avait pour objet de définir le besoin en protéines pour la croissance de la canette mulard en phase de démarrage (0-3 semaines). Cinq lots comportant chacun 6 parquets de 25 canettes ont été constitués à l'âge de 1 jour correspondant à des taux croissants en protéines dans l'aliment : 15,4 ; 18,6 ; 20,5 ; 21,8 et 25,3%. Les 5 régimes étaient isoénergétiques (2900 kcal EM/kg d'aliment) et les ratios des acides aminés essentiels par rapport à la lysine et de la lysine par rapport à la teneur en protéines étaient maintenus constants. Après l'âge de 3 semaines, tous les animaux ont reçu le même aliment croissance (3-7 semaines, 2900 kcal EM/kg d'aliment et 16,9% PB) et le même aliment finition (7-10 semaines, 2900 kcal EM/kg d'aliment et 15,1% PB). En ajustant par plusieurs modèles statistiques (modèle gaussien et régression linéaire) l'évolution des poids vifs moyens par parquet mesurés à 3 semaines en fonction de la teneur en protéines du régime nos résultats montrent qu'un taux de 23,2% pourrait être optimal. Par ailleurs, pour l'indice de consommation mesuré sur cette période, il n'y a pas de différence significative entre les lots à 20,5 ; 21,8 et 25,3% de protéines brutes. La teneur en azote des rejets s'accroît de façon linéaire avec la teneur en protéines du régime. A l'âge de 10 semaines, le taux protéique de l'aliment démarrage n'a plus d'effet significatif sur le poids vif alors que le poids du muscle pectoral avec ou sans peau est significativement plus faible pour le lot ayant reçu l'aliment à 15,4% PB. Pour la période de croissance, le lot ayant reçu l'aliment à 25,3% PB a un indice de consommation significativement plus élevé que celui des autres lots et pour la période de finition, le lot ayant reçu l'aliment à 15,4% PB présente l'indice de consommation le plus faible.

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the protein need for mule duck during the growing period (0-3 weeks). At 1-day-old, ducks were distributed into five groups (6 pens/group containing 25 ducks/pen) corresponding to five increasing protein levels in diet: 15.4, 18.6, 20.5, 21.8, and 25.3%. All diets had the same metabolisable energy content (2900 kcal ME/kg feed) and the ratios between the main amino acids to lysine and lysine to protein levels were similar. After 3 weeks of age, all ducks were fed with the same growing (3-7 weeks, 2900 kcal ME/kg feed and 16.9% CP) and finishing (8-10 weeks, 2900 kcal ME/kg feed and 15.1% CP) diets. By adjusting to different statistic models (Gauss model and linear regression) the effect of protein levels in diets on body weight measured per pen at 3 weeks of age, our data showed that 23.2% could optimise growth performance. Moreover, on this same period, feed conversion ratio (FCR) of groups 20.5, 21.8 and 25.3% CP were not significantly different. Nitrogen content of faeces increased linearly with protein levels of diet. At 10 weeks of age, protein levels of starting diet had no significant effect on body weight while the weight of breast muscle with or without skin was significantly lower in group 15.4% CP than in other groups. During the growing period, FCR of group 25.3% CP was significantly higher than FCR of other groups. During the finishing period, FCR of group 15.4% CP was significantly lower than FCR of other groups.

INTRODUCTION

Jusqu'à présent les besoins en protéines du canard mulard en croissance ont été estimés à partir des besoins mesurés chez le canard de Barbarie. Seuls Robin et al. (2002a ; 2002b ; 2004) et Robin et Castaing (2002) ont étudié les effets d'une réduction de la teneur en protéines et de la variation des apports en lysine et méthionine au cours de la phase de croissance du canard mulard élevé pour le gavage. Ce croisement peut aussi être élevé pour une production de canards à rôtir, en particulier les femelles dont l'utilisation en gavage est interdite. Afin d'optimiser l'utilisation des aliments et de limiter les pertes par rejets, il paraît judicieux de définir les besoins alimentaires spécifiques du canard mulard dont le développement corporel est plus précoce que celui du canard de Barbarie, en particulier par rapport au mâle. Cette étude a pour objectif de définir les besoins en protéines de la canette mulard au cours de la phase de démarrage et d'analyser les effets sur la croissance et les rejets azotés.

1. MATERIELS ET METHODES

Nous avons utilisé 750 canetons femelles mulards, de souche blanche hytop 74 (S.A. Grimaud, Roussay). Dès leur réception les canettes ont été réparties dans deux cellules identiques et contiguës comportant chacune 15 parquets de 6 m². Chaque parquet comportait 25 animaux élevés sur copeaux. Dans chaque salle, 5 lots ont été constitués correspondant à 5 taux protéiques différents dans l'aliment de démarrage : 15,4, 18,6, 20,5, 21,8 et 25,3%. Les ratios acides aminés indispensables/protéines totales de chaque régime ont été maintenus constants. Au cours de la phase de croissance, 3 périodes ont été considérées : démarrage (0-3 semaines), croissance (4-7 semaines) et finition (8-10 semaines). La teneur en énergie métabolisable a été fixée à 2900 kcal/kg d'aliment pour tous les régimes. La teneur en protéines des aliments croissance et finition était de 16,9 et 15,1%, respectivement. Les principales caractéristiques des aliments sont décrites dans le Tableau 1.

Les poids vifs individuels ont été contrôlés aux âges de 1, 21, 35, 49 et 70 jours après une mise à jeun de 5 h. Les consommations alimentaires ont été mesurées par case aux mêmes âges. A l'âge de 21 jours, 4 animaux par parquet, représentatifs de la moyenne et de la variabilité du poids vif du parquet, ont été sacrifiés par dislocation cervicale et dépouillés. Le poids des filets, des cuisses-pilons et du gras abdominal a été déterminé. A l'âge de 70 jours, l'état d'emplumement des canettes a été noté (1 = canards peu emplumés ; 2 = canards moyennement emplumés sur le dos ou les cuisses. Des zones de peau sont visibles et des plumes de la queue sont cassées ; 3

= canards bien emplumés sauf au-dessus des cuisses ; 4 = canards très bien emplumés. Aucune zone de peau n'est visible) et 4 animaux par parquet ont été sélectionnés comme précédemment et abattus. La présence de sicots sur les carcasses a été notée (1 = carcasse présentable ; 2 = présence de nombreux sicots au dessus des cuisses). Le poids des cuisses-pilons, des filets avec ou sans peau, des ailes et du gras abdominal a été mesuré. Les trois derniers jours de la période de démarrage, un échantillon de 200 g de fèces par parquet a été récupéré et lyophilisé afin d'analyser la teneur en azote (AOAC, 1984). La notation de l'état d'emplumement à 70 jours et de la présence de sicots sur les carcasses a été évaluée avec un test du Chi 2 et la comparaison des lots avec un test de Mann-Whitney. L'ensemble des autres résultats a été traité par analyse de variance. Pour la période de démarrage, le besoin en protéines pour la croissance a été estimé en ajustant avec un modèle Gaussien l'évolution des poids vifs moyens par parquet mesurés à 3 semaines en fonction de la teneur en protéines du régime et en recoupant avec la droite de régression linéaire au point d'obtention du poids vif maximal (Figure 1).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Plus la teneur en protéines de l'aliment démarrage est élevée et plus le poids vif à 3 semaines est accru (Tableau 2). Nous n'avons pas atteint un plateau. Il aurait fallu des teneurs plus proches comme 23 et 25% pour éventuellement parvenir à mettre en évidence un effet plateau. Nos résultats montrent qu'un taux de 23,2% pourrait être optimal (Figure 1). Cette valeur est bien supérieure à celle qui avait été déterminée chez le canard de Barbarie par Leclercq et De Carville (1976) : 17,7% pour les femelles et 19,3% chez les mâles pour un aliment à 2950 kcal/kg. A 35 jours, seuls les lots à 15,4 et 18,6% de PB ont un poids vif moyen significativement inférieur à celui des autres lots. A 49 jours, seul le lot à 15,4% PB a un poids vif significativement inférieur à celui des autres lots. A 70 jours, la variation du taux protéique de l'aliment démarrage n'a plus d'effet significatif sur le poids vif.

L'indice de consommation (IC) pour la période de démarrage s'améliore lorsque la teneur en protéines du régime s'accroît (Tableau 3). Pour la période de croissance, le lot 25,3% PB a un IC significativement plus élevé que celui des autres lots qui ont réalisé une croissance compensatrice. Pour la période de finition, les lots 15,4 et 18,6% PB ont un IC significativement plus faible que celui du lot 25,3% PB. Pour la période globale d'élevage, la variation du taux protéique en démarrage n'a pas d'effet significatif sur l'IC. Leclercq et De Carville (1976) n'avait pas mis en évidence d'effet significatif du taux protéique de

l'aliment démarrage sur l'indice de consommation du caneton de Barbarie.

Plus la teneur en protéines de l'aliment démarrage est faible plus le rendement en muscles à l'âge de 21 jours est faible et plus l'engraissement est élevé (Tableau 4). A l'âge de 70 jours, les lots 15,4 et 18,6% PB ont toujours un rendement en filets significativement inférieur à celui des autres lots (Tableau 5). Par contre, la variation de la teneur en protéines de l'aliment démarrage n'a plus d'effet significatif sur le rendement en cuisses-pilons et l'engraissement de la carcasse.

L'état d'emplumement à l'âge de 70 jours est significativement meilleur pour les lots 20,5, 21,8 et 25,3% PB, le retard de croissance des canettes des autres lots ayant entraîné un retard dans la pousse des plumes (Tableau 6). Par contre, la teneur en protéines de l'aliment démarrage n'a pas d'effet significatif sur la présence de sicots sur les carcasses des canettes abattues à l'âge de 70 jours (Tableau 6), et sur le taux de mortalité (7%).

Enfin, plus la teneur en protéines de l'aliment démarrage est élevée, plus l'excrétion d'azote est importante (Tableau 7) : + 2,4 points entre les lots extrêmes. Ceci confirme les observations de Akinde et al. (2006).

CONCLUSION

La teneur en protéines de l'aliment démarrage permettant d'optimiser la croissance des canettes mulards est de 23,2%, valeur supérieure à celle recommandée actuellement pour le canard de

Barbarie et le canard commun. Elle apparaît plus proche de celle recommandée pour le poulet de chair. Si l'on considère la période globale d'élevage, la variation de la teneur en protéines de l'aliment démarrage n'a pas d'effet sur le poids vif à 10 semaines, l'IC et la présentation des carcasses. Toutefois, pour les rendements en découpe, les lots 15,4 et 18,6% PB présentent un rendement en filets inférieur à celui des autres lots.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Akinde, O.A., Kluth, H., Rodehutschord, M., 2006. XIIth European Poultry Conference, Verona (Italy), 10-14/09/06 : 6 pages.
- AOAC, 1984. 14th edn., Arlington, VA, Association of Official Chemists.
- Leclercq, B., De Carville, H., 1976. Arch. Geflügelk. 40 : 117-119.
- Robin, N., Castaing, J., 2002. 5èmes Journées de la Recherche sur les Palmipèdes à Foie Gras, Pau (France), 9-10/10/02 : 110-113.
- Robin, N., Peyhorgue, A., Castaing, J., 2002a. 5èmes Journées de la Recherche sur les Palmipèdes à Foie Gras, Pau (France), 9-10/10/02 : 102-105.
- Robin, N., Larroude, P., Castaing, J., 2002b. 5èmes Journées de la Recherche sur les Palmipèdes à Foie Gras, Pau (France), 9-10/10/02 : 106-109.
- Robin, N., Larroude, P., Cambeilh, D., Skiba, F., 2004. 6èmes Journées de la Recherche sur les Palmipèdes à Foie Gras, Arcachon (France), 7-8/10/04 : 167-170.

Tableau 1. Principales caractéristiques des aliments expérimentaux (g/kg)

Régimes	Démarrage					Croissance	Finition
	1	2	3	4	5		
EM kcal/kg	2900	2900	2900	2900	2900	2907	2900
MAT *	154	186	205	218	253	169	151
Lysine	7,18	8,60	9,54	10,48	11,90	9,00	8,00
AAS	6,38	7,66	8,51	9,36	10,63	8,00	7,09
Tryptophane	1,58	1,92	2,14	2,36	2,70	1,98	1,63
Thréonine	5,07	6,06	6,73	7,39	8,38	6,15	5,10
Calcium	9,10	9,07	9,05	9,03	9,00	8,99	8,49
P disponible	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	2,50

* valeurs mesurées

Tableau 2. Effet de la variation du taux en protéines de l'aliment démarrage sur l'évolution, avec l'âge, du poids vif (g) des canettes mulards (moyenne \pm écart-type ; n = 150)

Teneur en protéines de l'aliment démarrage (%)	Age (jours)				
	1	21	35	49	70
15,4	46 \pm 3	637 \pm 109 e	1743 \pm 187 c	2947 \pm 252 b	4078 \pm 371
18,6	46 \pm 3	742 \pm 122 d	1877 \pm 192 b	3067 \pm 257 a	4097 \pm 452
20,5	46 \pm 3	795 \pm 97 c	1932 \pm 165 a	3088 \pm 268 a	4047 \pm 387
21,8	46 \pm 3	834 \pm 99 b	1950 \pm 174 a	3142 \pm 251 a	4117 \pm 385
25,3	46 \pm 3	877 \pm 114 a	1946 \pm 211 a	3067 \pm 266 a	4018 \pm 338
Effet lot	NS	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	NS

NS = non significatif

Figure 1 - Effet de la variation du taux en protéines de l'aliment démarrage sur le poids vif (g) des canettes mulards à l'âge de 3 semaines (n = 6) et ajustement à un modèle Gaussien

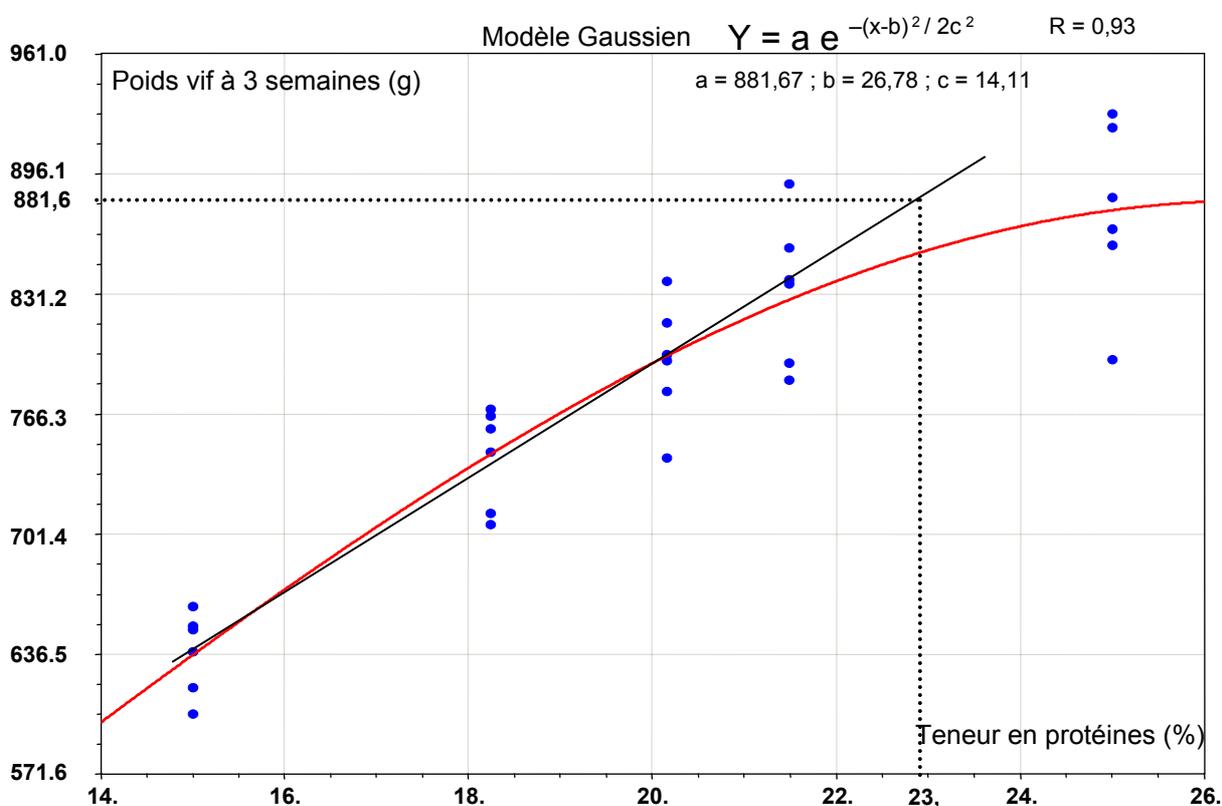


Tableau 3. Effet de la variation du taux en protéines de l'aliment démarrage sur l'évolution, avec l'âge, de l'indice de consommation des canettes mulards (moyenne \pm écart-type ; n = 6)

Teneur en protéines de l'aliment démarrage (%)	Périodes			
	Démarrage	Croissance	Finition	Globale
15,4	1,79 \pm 0,07 a	2,73 \pm 0,14 b	6,06 \pm 0,44 c	3,44 \pm 0,08
18,6	1,67 \pm 0,02 b	2,74 \pm 0,10 b	6,44 \pm 0,68 bc	3,40 \pm 0,11
20,5	1,61 \pm 0,03 c	2,76 \pm 0,09 b	6,88 \pm 0,36 ab	3,42 \pm 0,10
21,8	1,59 \pm 0,06 cd	2,74 \pm 0,12 b	6,56 \pm 0,31 abc	3,33 \pm 0,11
25,3	1,54 \pm 0,02 d	2,96 \pm 0,14 a	7,13 \pm 0,57 a	3,52 \pm 0,16
Effet lot	< 0,0001	0,0117	0,0094	NS

NS = non significatif

Tableau 4. Effet de la variation du taux en protéines de l'aliment démarrage sur le développement musculaire et l'état d'engraissement des canettes mulards à l'âge de 21 jours (moyenne \pm écart-type ; n = 24)

Teneur en protéines de l'aliment démarrage (%)	Poids vif (g)	Filet sans peau (g)	Cuisse-pilon (g)	Gras abdominal (g)
15,4	639 \pm 101 d	4.73 \pm 1.22 e	55.67 \pm 9.90 d	6.04 \pm 2.06 a
18,6	747 \pm 111 c	5.93 \pm 1.67 d	68.52 \pm 10.39 c	6.37 \pm 2.78 a
20,5	795 \pm 96 bc	6.82 \pm 1.40 c	73.99 \pm 8.98 cb	4.82 \pm 1.85 ba
21,8	836 \pm 98 ba	7.88 \pm 1.56 b	78.72 \pm 10.26 b	5.24 \pm 2.01 ba
25,3	884 \pm 106 a	9.00 \pm 1.77 a	84.74 \pm 8.74 a	4.12 \pm 1.65 b
Effet lot	<0.0001	0.0001	0.0001	0.0021

Tableau 5. Effet de la variation du taux en protéines de l'aliment démarrage sur le développement musculaire et l'état d'engraissement des canettes mulards à l'âge de 70 jours (moyenne \pm écart-type ; n = 24)

Teneur en protéines de l'aliment démarrage (%)	Poids ressué (g)	Poids total du filet (g)	Muscle du filet (g)	Cuisse-pilon (g)	Gras abdominal (g)
15,4	3510 \pm 240	345 \pm 33 b	265 \pm 24 c	371 \pm 28	70 \pm 21
18,6	3531 \pm 235	358 \pm 34 ab	276 \pm 28 bc	371 \pm 37	64 \pm 17
20,5	3519 \pm 288	372 \pm 34 a	298 \pm 33 a	360 \pm 44	58 \pm 16
21,8	3560 \pm 262	370 \pm 33 a	290 \pm 25 ab	366 \pm 34	65 \pm 20
25,3	3481 \pm 253	372 \pm 25 a	292 \pm 20 ab	354 \pm 29	62 \pm 17
Effet lot	NS	0.01	0.0002	NS	NS

NS = non significatif

Tableau 6. Effet de la variation du taux en protéines de l'aliment démarrage sur l'état d'emplumement des canettes mulards à l'âge de 70 jours (fréquence pour chaque note) et sur la présence de sicots sur les carcasses des canettes abattues (fréquence pour chaque note ; n = 24)

Teneur en protéines de l'aliment démarrage (%)	n	Etat d'emplumement (%)				Présence de sicots (%)	
		1	2	3	4	1	2
15,4	110	8	24	63	5 bc	54	46
18,6	115	4	35	57	4 c	29	71
20,5	117	6	21	55	18 ab	38	62
21,8	115	1	17	62	21 a	33	67
25,3	102	5	27	50	18 ab	42	58
Effet lot				0,0002			0,3997

Etat d'emplumement : 1 = canards peu emplumés ; 2 = canards moyennement emplumés sur le dos ou les cuisses. Des zones de peau sont visibles et des plumes de la queue sont cassées ; 3 = canards bien emplumés sauf au-dessus des cuisses ; 4 = canards très bien emplumés. Aucune zone de peau n'est visible.

Présence de sicots : 1 = carcasse présentable ; 2 = présence de nombreux sicots au dessus des cuisses.

Tableau 7. Effet de la variation du taux en protéines de l'aliment démarrage sur la teneur en azote total des fientes prélevées au cours de la 3^{ème} semaine d'élevage des canettes mulards (moyenne \pm écart-type ; n = 6)

Teneur en protéines de l'aliment démarrage (%)	15,4	18,6	20,5	21,8	25,3
Teneur en azote total des fientes (%)	4,5 \pm 0,4 d	5,0 \pm 0,2 c	5,6 \pm 0,4 b	5,9 \pm 0,7 b	6,9 \pm 0,5 a

a-d : différences significatives entre lots, P < 0,001

DIGESTIBILITE DES ACIDES AMINES CHEZ LE DINDON EN FINITION, INFLUENCE DE L'AGE ET DU TAUX AZOTE DE L'ALIMENT

Lessire Michel¹, Travel Angélique², Le Bellego Laurent³, Bouvarel Isabelle², Buttin Pierre⁴, Hallouis Jean Marc¹, Juin Hervé⁵

¹INRA, UR83 Recherches Avicoles, 37380 Nouzilly, ²ITAVI, UR83 Recherches Avicoles, 37380 Nouzilly, ³Ajinimoto-Eurolysine S.A.S, 153, rue de Courcelles 75817 Paris cedex 17, ⁴Novus Europe, 200 av. Marcel Thiry, Building D 4th floor, B-Bruxelles, ⁵INRA, Le Magneraud, 17700 Surgères

Ce travail a été réalisé dans le cadre de l'Unité Mixte Technologique BIRD
(Biologie et Innovation pour la Recherche et le Développement en aviculture)

RÉSUMÉ

L'objectif du travail est de déterminer la digestibilité de la fraction protéique de l'aliment en relation avec l'âge du dindonneau et la teneur en protéine des aliments, prolongeant ainsi l'étude réalisée par Travel et al, 2005. Pour cela 4 aliments présentant des teneurs variables en protéines : de 22.5 à 18.9% et de 21.5 à 17.8% ont été utilisés de 8 à 12 semaines et de 13 à 16 semaines respectivement. Chaque aliment est distribué à 10 animaux âgés de 9 et 14 semaines placés en cages à bilan digestif, nourris selon un protocole classique d'alimentation *ad libitum* et avec collecte totale des excréta.

Les digestibilités de l'énergie et de l'azote des aliments sont indépendantes du taux azoté de la ration mais les valeurs d'EMAn mesurées sont inférieures aux valeurs de formulation. Les digestibilités apparentes des principaux acides aminés des aliments sont indépendantes du niveau azoté de la ration, sauf exception. En effet, la digestibilité de la leucine diminue de 14% à 9 semaines ($p=0.0001$) lorsque le taux azoté passe de 22.5 à 18.8%, celle du tryptophane est réduite de 3.1% ($p=0.09$). A 14 semaines, la digestibilité de la lysine augmente de 4% ($p=0.07$) lorsque le taux azoté diminue de 21.5 à 17.8%, alors que celle de l'alanine diminue de 2% ($p=0.07$). Toutes les digestibilités mesurées à 14 semaines sont significativement inférieures à celles obtenues à 9 semaines, montrant ainsi un effet de l'âge important.

ABSTRACT

The objective of the work is to determine the digestibility of the protein fraction of the food in connection with the age of the turkey poul and the protein content of the food, so prolonging the study realized by Travel et al, 2005. For it 4 diets presenting variable contents in proteins: from 22.5 to 18.9 % and from 21.5 to 17.8 % were used from 8 to 12 weeks and from 13 to 16 weeks of age of the birds respectively. Every diet was distributed to 10 birds which were 9 and 14 weeks old, they were placed in digestibility cages, fed according to a classic protocol of food *ad libitum* and with total excreta collection.

The digestibilities of the energy and the nitrogen of food are independent from the nitrogenous content of the diet but the AMEn values are lower than the values of formulation. The apparent digestibilities of main amino acids of food are independent from the protein level of the diet, except some of them. For example, the digestibility of the leucine decreases in 14 % in 9 weeks birds ($p=0.0001$) when the nitrogenous rate passes from 22.5 to 18.8 %, that of the tryptophane decreases in 3.1 % $p=0.09$). In 14 weeks birds, the digestibility of the lysine increases by 4 % $p=0.07$ when the nitrogenous rate decreases from 21.5 to 17.8 %, while that of the alanine decreases in 2 % $p=0.07$). All the digestibilities measured in 14 weeks old birds are significantly lower than those obtained when they were 9 weeks, so showing an effect important age.

INTRODUCTION

La couverture des besoins azotés des oiseaux domestiques peut être encore assurée en prenant en considération la teneur en acides aminés totaux des matières premières. Cette approche ne tient pas compte de leur utilisation digestive, sujette à de nombreux facteurs de variation. Parmi ceux-ci, l'âge est souvent cité, mais son influence ne fait pas l'unanimité. En effet, pour certains auteurs, la digestibilité des protéines et acides aminés augmente avec l'âge du poulet (Wallis and Balnave, 1984), pour d'autres elle est indépendante (Ten Doeschate et al, 1993) ou diminue (Johns et al, 1986, Zuprizal et al, 1992). Chez le dindonneau de chair, l'influence de l'âge sur la digestibilité des protéines et acides aminés est encore moins renseignée que chez le poulet, en particulier pour les animaux les plus âgés.

L'objectif de l'essai que nous avons mis en place est d'étudier chez le dindonneau l'influence de l'âge de mesure et du taux azoté de la ration sur la digestibilité des acides aminés. Ces déterminations sont effectuées sur des animaux en période de finition, juste avant l'abattage.

1. MATERIEL ET METHODES

Les animaux utilisés sont issus d'un troupeau élevé parallèlement à celui utilisé par Travel et al (2005). Les aliments testés : lots A, B, C et D (tableau 1) sont à base de blé, maïs et tourteau de soja (mêmes lots), ils sont iso énergétiques et iso acides aminés digestibles, mais varient pour leur teneur en protéines brutes qui passe de 22.5 à 18.8 % et de 21.5% à 17.8 % lorsque les oiseaux sont âgés respectivement de 8 à 12 semaines et de 13 à 16 semaines. Lorsque la teneur en protéines de l'aliment était réduite, il a été nécessaire de faire appel à des acides aminés purs de synthèse moins usuels : arginine, isoleucine et valine et considérés comme 100% disponibles. Les valeurs retenues pour la formulation des aliments sont issues de la table INRA-AFZ (2002).

1.1. Bilans digestifs

Les bilans digestifs sont pratiqués aux âges de 9 et 14 semaines. Pour chaque bilan, 40 dindonneaux de poids homogène sont extraits du troupeau, puis chaque animal est placé dans une cage à bilan digestif. Il reçoit alors l'un des 4 aliments testés pendant 4.5 jours, puis est mis à jeun pendant 18 heures. L'aliment est de nouveau distribué pendant 54 heures puis retiré pendant 18 heures. La collecte individuelle des excréta est pratiquée tous les jours pendant les dernières 72 heures. Les excréta frais de chaque oiseau sont homogénéisés et un aliquote représentant 45 à 60% du poids total est lyophilisé.

Des mesures de matière sèche sont pratiquées à chaque étape pour déterminer l'excrété total sec.

1.2. Analyses et mesures

Les aliments sont analysés pour leurs teneurs en matière sèche, protéines (N*6.25), acides aminés et énergie brute. Les teneurs en azote protéique non digéré (Terpstra et de Hart, 1974) ainsi que celles des acides aminés non digérés sont déterminées sur 4 pools d'excréta (2 oiseaux/pool) par traitement alimentaire.

Les analyses pratiquées permettent de calculer les énergies métabolisables à bilan azoté nul (EMAN), et les digestibilités apparentes de l'azote et des acides aminés.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 1. Les valeurs d'énergie métabolisable des 4 aliments testés à 9 semaines s'élèvent en moyenne à 3321kcal/kg de matière sèche, et sont indépendantes du traitement alimentaire. La valeur d'énergie métabolisable de formulation commune aux 4 aliments s'élevait à 3050kcal/kg soit 3391kcal/kg de matière sèche, en retenant les matières sèches mesurées sur les aliments expérimentaux. Cette valeur est légèrement supérieure aux résultats obtenus. Les digestibilités de l'azote des aliments sont également indépendantes de la teneur en protéines de la ration et s'élèvent en moyenne à 82.9 %. Il en est de même pour la plupart des acides aminés dont la digestibilité est indépendante de la concentration en protéines. Cependant, la digestibilité de la leucine diminue significativement de 84.7 à 72.6% lorsque le taux azoté diminue; celle du tryptophane présente une simple tendance à la diminution.

A 14 semaines d'âge, les aliments ont été formulés pour titrer 3490kcal, les valeurs mesurées sont inférieures, surtout celle de l'aliment A qui s'élève à 3377kcal. Les digestibilités de l'azote varient de 74 à 77.2% sans que l'on puisse établir une relation avec la teneur en protéines de l'aliment. Les digestibilités des acides aminés sont pour la plupart indépendantes du taux azoté de la ration, exception faite de celle de l'alanine qui tend à diminuer avec le taux azoté ($p=0.07$) et de celle de la lysine qui augmente significativement lorsque le taux protéique diminue.

Même si les aliments n'ont pas la même composition, nous avons comparé leurs digestibilités aux deux âges. Cette comparaison confirme la différence de formulation de 100kcal d'EM, mais surtout souligne une réduction systématique et significative des digestibilités des fractions azotées des rations. Ainsi la digestibilité de la lysine, du tryptophane, et de la méthionine

diminue de 5 points environ, celle de la thréonine passe de 79.3 à 71.8%.

CONCLUSION

L'objectif de ce travail était d'étudier l'influence de l'âge du dindonneau et de la concentration en protéines de l'aliment sur la digestibilité des acides aminés ; la mesure de la valeur énergétique des aliments était également déterminée. Pour cette dernière, nous obtenons des valeurs mesurées inférieures à celles prévues par la formulation en utilisant les tables INRA-AFZ de 2002, les valeurs coq qui y figurent surestimeraient donc l'EMAn de certains ingrédients chez les dindons en période de finition, confirmant ainsi des données antérieures (Barrier-Guillot and Métayer, 2001, Lessire et al, 2003).

Pour un âge donné, la concentration en protéines de la ration n'a pas d'effet significatif sur la digestibilité de la plupart des acides aminés. Ce résultat est en contradiction avec ceux observés par Yi et al. (1996) qui montrent qu'une réduction de l'apport protéique (28 vs 22.5%) augmente, chez le dindonneau de 3 semaines, la digestibilité iléale d'une majorité d'acides aminés. Chez ces auteurs, les valeurs observées sont largement supérieures à celles que nous mentionnons.

A l'inverse, des réductions de digestibilité importantes, liées à l'âge du dindonneau, ont aussi été enregistrées chez des animaux d'âge similaire aux nôtres, pour du tourteau de soja (Firman, 1992). Pour la farine de viande, la plupart des acides aminés ont une digestibilité supérieure chez les oiseaux mâles âgés (17 vs 11 semaines), alors que chez les femelles la digestibilité diminue lorsque l'âge des oiseaux passe de 8 à 14 semaines.

En définitive, il semblerait que la digestibilité de la majorité des acides aminés chez le dindonneau ne dépende pas du taux azoté de la ration mais de l'âge

de l'oiseau. Ce résultat doit cependant être relativisé dans la mesure où nous n'avons utilisé que des animaux de sexe mâle alimentés avec un aliment complet et équilibré. Il est donc difficile, dans ces conditions, de recommander des valeurs de formulation aux fabricants d'aliment. Enfin les valeurs que nous mentionnons sont des digestibilités apparentes qu'il conviendrait de corriger des pertes endogènes.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Barrier-Guillot B., Métayer J. P., 2001. 5èmes Journées de la Recherche Avicole; Nantes (FRA); 2001/03/27-30, 131-134. ITAVI, Paris (FRA).
- Johns D. C., Low C. K., James K. A. C., 1986. Brit. Poult. Sc., 27, 679-685.
- Lessire M., Skiba F., Métayer J. P., Juin H., Hallouis, J. M., Bouvarel I., 2003. 5èmes Journées de la Recherche Avicole; Tours (FRA); 2003/03/26-27, 157-160. ITAVI, Paris (FRA).
- Firman J., 1992. J. Appl. Poult. Res., 1, 350-354.
- Ten Doeschate R. A. H. M., Scheele C. W., Schreurs V. V. A. M., Van Der Klis J. D., 1993. Brit. Poult. Sci., 34, 131-146.
- Terpstra K. and De Hart N., 1974. Z. Tierphysiol. Futtermittelkde., 32, 306-320.
- Travel A., Bouvarel I., Aubert C., Chagneau A. M., Hallouis J. M., Juin H., Relandeau C., Buttin P., Broz, J., Lessire M., 2005. Journées de la Recherche Avicole, 6, p 345-349.
- Wallis I. R., Balnave D., 1984. Brit. Poult. Sc., 25, 401-407.
- Zuprizal, Larbier M., Lessire M., 1992. Poult. Sci., 71, 1486-1492.

Tableau 1. Composition et caractéristiques des aliments expérimentaux, les acides aminés sont exprimés en quantité digestible.

INGREDIENTS (g/kg)	PERIODE 1				PERIODE 2			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Maïs	333	374,36	415,72	461,2	341,4	385,08	428,75	431,7
Alimet	2,2	2,54	2,88	3,3	1,72	2,31	2,9	3,33
Lysine HCl	0,5	1,6	2,7	3,92	2,23	2,32	2,4	4
Blé	200	200	200	200	250	221,15	192,3	250
T. Soja	381,4	343,5	305,6	262,5	259,3	258,15	257	217,3
Gluten de maïs					50	25		
Graine soja extr.					20,5	30,85	41,2	18
Huile colza	55,6	49,95	44,3	37,4	50	50	50	46,4
Thréonine		0,45	0,9	1,42		0,25	0,5	1,23
Tryptophane				0,05				
Arginine				1,1				1,54
Valine				0,52				0,75
Isoleucine				0,3				0,37
Minéraux, Vit., Sel	27,3	27,6	27,9	28,29	24,85	24,9	24,95	25,38
COMPOSITION								
EM Kcal/kg	3050	3050	3050	3050	3150	3150	3150	3150
Protéines g	224,5	212,25	200	187,8	215	203,85	192,7	177,6
LYS	10,99	11,02	11,05	11,06	10,40	10,41	10,42	10,43
MET	4,76	4,92	5,08	5,29	4,58	4,80	5,02	5,18
SAA	7,83	7,86	7,88	7,93	7,71	7,72	7,73	7,72
THR	7,43	7,40	7,36	7,32	6,87	6,79	6,71	6,70
TRP	2,58	2,40	2,21	2,06	2,21	2,17	2,13	1,90
LEU	16,66	15,90	15,13	14,25	18,47	16,56	14,65	13,28
ILE	8,76	8,16	7,55	7,14	8,12	7,67	7,22	6,70
VAL	9,41	8,84	8,26	8,11	8,93	8,43	7,93	7,82
ARG	13,27	12,30	11,33	11,26	11,37	11,12	10,88	10,90
Calcium g	8,63	8,615	8,6	8,6	7,71	7,71	7,71	7,73
P. Disp. G	3,49	3,495	3,5	3,5	3	3	3	3

Tableau 2. Valeur énergétique (EMAn en Kcal/kg de matière sèche), digestibilité des protéines et acides aminés (%) des aliments expérimentaux en fonction de l'âge de l'oiseau et du taux azoté (MAT) de la ration.

Bilans digestifs à 9 semaines d'âge

Aliment	MAT %	AMEn Kcal/kg	CUDn %	LYS	THR	MET	CYS	AAS	TRP	ALA	ARG	ASP	GLU	GLY	HIS	ILE	LEU	PHE	SER	TYR	VAL	PRO
A	22,5	3332	83,4	88,0	79,1	84,7	77,3	80,8	84,4	78,6	86,2	84,7	88,2	59,4	88,3	84,5	84,7a	85,1	83,7	84,1	81,7	84,5
B	21,2	3335	83,4	87,7	79,5	83,1	76,2	79,5	83,3	77,5	84,9	84,2	88	55,9	87,1	83,4	83,8a	84	83,1	83,6	80,9	84,1
C	20,0	3285	81,9	87,5	79,2	82,2	77,1	79,5	81,6	77,1	84,5	83,6	87,8	58,7	87	83,1	84,0a	84,2	82,6	83	80,9	83,1
D	18,9	3333	83,0	88,8	80,4	83,5	77,0	80,1	81,8	77,2	85,6	83,3	88	58,6	87,1	83,7	72,6b	84,3	82,4	83,6	81,8	83,9
		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	P=0,09	NS	S	NS	NS	NS	NS	NS						

Bilans digestifs à 14 semaines d'âge

Aliment	MAT %	AMEn Kcal/kg	CUDn %	LYS	THR	MET	CYS	AAS	TRP	ALA	ARG	ASP	GLU	GLY	HIS	ILE	LEU	PHE	SER	TYR	VAL	PRO
A	21,5	3377b	74,0b	80,5	69,6	76,8	73	74,9	75,3	72,6	80,4	76,2	84,1	43,5	82,8	76,3	80,6	79,2	77,9	78,3	74,6	81,5
B	20,4	3425a	77,2a	83,8	73,3	79	75,4	77,1	78,0	74,3	82,6	79,7	85,9	49,5	84,7	78,9	82,1	81	79,7	80,2	76,6	80,8
C	19,3	3450a	74,7b	81,9	71	78,1	74,3	75,7	77,1	69	80,7	77,3	83,9	37,6	82,6	76,2	78,5	77,6	76,8	76,6	73,5	79,6
D	17,8	3443a	74,4b	83,7	73,5	77,1	74,6	77,5	79	69,8	83,2	77,3	84,6	48,5	82,6	77,9	79,3	78,4	77,3	76,9	76,6	80,3
		S	S	P=0,07	NS	NS	NS	NS	NS	p=0,07	NS											

Effet AGE

	MAT %	AMEn Kcal/kg	CUDn %	LYS	THR	MET	CYS	AAS	TRP	ALA	ARG	ASP	GLU	GLY	HIS	ILE	LEU	PHE	SER	TYR	VAL	PRO
9 sem.		3321	82,9	87,8	79,3	83,3	77,2	80,1	82,8	77,5	85,6	82,6	86,2	58,5	87,6	83,8	82,5	84,5	83,1	83,8	81,4	84
14 sem.		3424	75,1	82,3	71,8	78,2	74,5	76,5	77,5	72,1	81,9	77,8	84,8	46,2	83,4	77,6	80,6	79,2	78,2	78,2	75,5	81,1
		S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	NS	S	S	S	S	S

ADAPTATION DES REGIMES ALIMENTAIRES POUR UNE CROISSANCE OPTIMALE DE LA PINTADE SOUS LABEL ROUGE (phase démarrage)

Van der horst Florence ¹, Clavé Hubert ²

¹ ITAVI – 4, rue Ingres 33220 PINEUILH

² NUTRICIA - MAISADOUR - Haut Mauco 40001 MONT DE MARSAN

RÉSUMÉ

Pour l'élevage de la pintade sous label rouge, les constats du terrain sont un poids moyen souvent trop faible à l'abattage, l'allongement de la durée d'élevage ne permettant pas de compenser ce manque de poids.

La pintade étant proche du gibier, l'idée a été de tester sur la période démarrage des formules alimentaires proches de celles du faisán. Les animaux de souche GALOR ont été élevés en cages.

Trois lots ont été comparés :

- Lot 1 : aliment démarrage classique pintade (0,8 kg – EM 2880 kcal/kg, MAT 23%, Lysine 1,3%, AAS 0,95%)
- Lot 2 : aliment démarrage gibier (0,1 kg – EM 2780 kcal/kg, MAT 27,4%, Lysine 1,7%, AAS 1,09%) + démarrage classique pintade (0,7 kg)
- Lot 3 : aliment démarrage gibier (0,1 kg) + démarrage pintade enrichi en protéines brutes et acides aminés (0,7 kg – EM 2880 kcal, MAT 24,5%, Lysine 1,5%, AAS 1,10%)

La distribution de l'aliment démarrage gibier (lot 2 et lot 3) a permis de stimuler la consommation des pintadeaux de façon significative pendant la période de distribution (1 à 7 jours).

A la fin de la période d'essai (J31) le poids vif des animaux du lot 3 est accru de manière hautement significative (+6%) par rapport au lot témoin 1.

Un essai du même type sur la phase croissance est en cours.

ABSTRACT

In red label guinea-fowl farms, animal's weight is not enough high. This is noted in the farms.

Guinea-fowls are like game birds ; so why don't use game feed for guinea-fowls ?

The objective of this study was to compare three feed treatments ; guinea-fowls were bred in cages.

- Lot 1 : classical start feed (0,8 kg – ME 2880 kcal/kg, CP 23%, Lysine 1,3%, SAA 0,95%)
- Lot 2 : game feed (0,1 kg – ME 2780 kcal/kg, CP 27,4%, Lysine 1,7%, SAA 1,09% + classical start feed (0,7) kg
- Lot 3 : game feed (0,1 kg + super start feed (0,7 kg – ME 2880 kcal/kg, CP 24,5%, Lysine 1,5%, SAA 1,10%).

During the first week with game feed, consumption was significantly improved for treatment 2 and 3.

In the end of this experiment (d31), body weight of animals – treatment 3 was significantly (+6%) improved, compared with negative control (treatment 1).

Now, the same study is making with growth diet.

INTRODUCTION

Pour l'élevage de la pintade sous label rouge, les constats du terrain indiquent un poids moyen souvent trop faible à l'abattage. Cet état de fait est surtout valable pour la souche GALOR actuellement utilisée pour la production de pintades sous label rouge avec accès à un parcours extérieur (ARVOL 2005). Les observations faites pendant certaines périodes de report d'enlèvement, montrent que l'allongement de la durée d'élevage ne permet pas de compenser ce manque de poids. Ainsi, un programme de plusieurs essais sur la modification des formules alimentaires pintades sous label rouge a été engagé ; la première phase présentée ici concerne la période démarrage.

La pintade est un animal proche du gibier. Jusqu'à 35 jours, ses performances de croissance et de consommation sont similaires à celles d'un faisane. L'idée est de tester pour la pintade label l'utilisation d'un aliment démarrage gibier (plus riche en protéines et acides aminés que l'aliment pintade classique) pendant les premiers jours d'élevage, associé ou non à un aliment démarrage pintade lui-même enrichi.

D'une manière générale, le niveau alimentaire des formules utilisées en démarrage depuis quelques années a été volontairement abaissé suite à différents problèmes pathologiques, ce qui laisse à penser que les apports nutritionnels actuels sont faibles par rapport aux besoins de l'espèce.

1. MATERIEL ET METHODE

L'essai s'est déroulé au printemps 2006 dans la station expérimentale NUTRICIA – MAISADOUR à POMAREZ (40).

Les animaux de souche GALOR ont été élevés en cages, dans la même salle, à partir de 1 jour. Trois lots de 66 pintadeaux mâles ont ainsi été répartis dans 18 cages à raison de 11 animaux par cage.

Le plan d'alimentation pour les trois lots est le suivant :

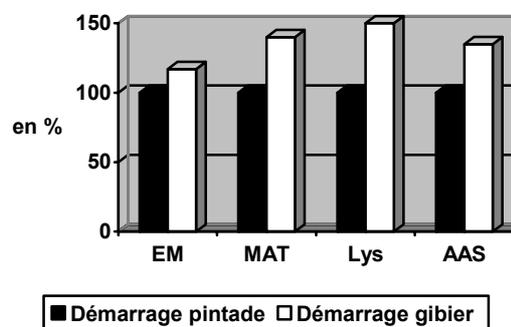
Lot 1 : témoin démarrage pintades miettes (2880 kcal EM - 230g MAT - 13 g de lysine et 9,5g d'AAS/kg) – distribution de 800g par tête

Lot 2 : **aliment démarrage gibier** (2780 kcal EM – 274 g de MAT – 17 g de lysine et 10,9 g d'AAS) – distribution de 100 g par tête.

Au-delà, distribution de l'aliment témoin démarrage pintade à raison de 700 g par sujet.

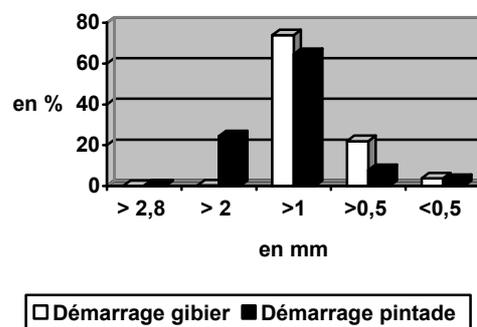
Lot 3 : **aliment démarrage gibier** (idem lot 2) + 700 g **aliment démarrage pintade enrichi** + (2880 kcal EM– 245 g de MAT – 15 g de lysine et 11 g d'AAS).

Graphique 1. Bilan des ingérés de la semaine 1 – Comparaison aliment démarrage pintade et aliment démarrage gibier



L'aliment démarrage pintade a été présenté en miettes ; l'aliment démarrage gibier a également été présenté en miettes mais avec une granulométrie plus fine.

Graphique 2. Granulométrie des aliments (taille des particules)



Les aliments de ce protocole ont été distribués aux animaux sur la période de 1 à 31 jours, ensuite le programme alimentaire classique a continué avec un aliment croissance pour les trois lots ; et les différents contrôles se sont poursuivis jusqu'à l'âge de 42 jours.

Le plan de contrôle prévoit :

En élevage :

- Pesée et identification individuelle des animaux à la mise en cages.
- Pesée individuelle de l'ensemble des animaux à 1, 7, 14, 28, 31, 35 et 42 jours
- Contrôle des consommations d'aliment par cage et à la fin de chaque période précitée. Calcul de l'Indice de consommation.

Les effets ont été mesurés par analyses de variance (ANOVA). Les différences entre les moyennes des traitements ont été évaluées par le test de comparaison de Tuckey.

2. RESULTATS

2.1. Courbes de croissance

L'évolution des poids vifs est présentée dans les tableaux 1 et 2 :

Tableau 1. Poids par lot durant l'essai (en grammes par animal) - sur la période 1 à 21 jours –moyenne + écart-type

Age	1 jour	7 jours	14 jours	21 jours
Lot 1	30,90	86,1 a ± 7,55	197,2 a ± 18,08	353 a ± 30,53
Lot 2	30,45	90,6 b ± 8,05	206,8 b ± 18,78	363,6 ab ± 32,85
Lot 3	30,90	89,0 ab ± 7,76	220,2 c ± 17,54	384,9 b ± 27,65
p	NS	***	***	***

Les moyennes sont significativement différentes au seuil $p < 0,001$ pour *** - NS : non significatif

Tableau 2. Poids par lot (en grammes par animal) - sur la période 28 à 42 jours –moyenne + écart-type

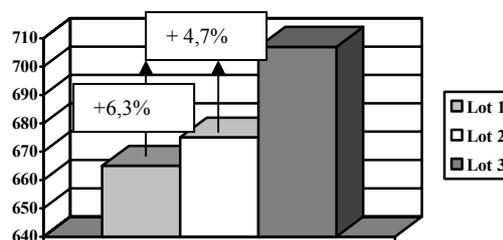
Age	28 jours	31 jours	35 jours	42 jours
Lot 1	570 a ± 40,4	665 a ± 46,77	773,9 ± 52,82	983,3 ± 67,21
Lot 2	581,5 ab ± 46,83	675 ab ± 53,02	787,1 ± 60,4	980,8 ± 72,31
Lot 3	607,8 b ± 39,20	707 b ± 41,17	800,1 ± 49,69	1001,2 ± 63,2
p	***	***	NS	NS

Les moyennes sont significativement différentes au seuil $p < 0,001$ pour *** - NS : non significatif

Le lot 3 recevant l'aliment démarrage gibier et l'aliment démarrage pintade « enrichi » présente les niveaux de poids les plus élevés, avec des

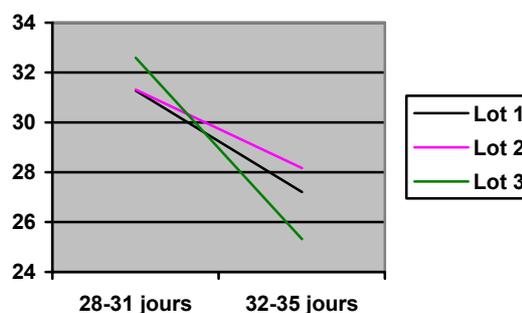
différences hautement significatives par rapport aux autres lots, sur la période d'essai de 7 à 31 jours.

Graphique 3. Poids vif à 31 jours (g)



Cette avance pondérale ne se poursuit plus pour le lot 3 après 31 jours, lorsque les animaux reçoivent le même régime (pesées à 35 et 42 jours) ; on enregistre alors un léger décrochage du GMQ pour ce lot entre 31 et 35 jours.

Graphique 4. GMQ par période (g)



2.2. Consommations d'aliments

La distribution d'aliment démarrage gibier a permis de stimuler de façon significative la consommation des pintadeaux pendant la première semaine.

La différence de granulométrie des miettes de l'aliment démarrage gibier pourrait être à l'origine de cette augmentation de la consommation de 18% (entre le lot témoin et les lots 2 et 3).

A partir de la deuxième semaine, l'ensemble des aliments est présenté de façon identique (miettes moyennes) et la consommation redevient similaire pour les trois lots.

Tableau 3. Consommation par semaine et par lot (g)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Lot1	63,2a	183a	266	383	452	525
Lot2	74,8b	194b	273	388	458	521
Lot3	74,0b	197b	274	396	448	524
p	***	*	NS	NS	NS	NS

Les moyennes sont significativement différentes au seuil $p < 0,001$ pour *** - $p < 0,05$ pour * - NS : non significatif

2.3. Indice de consommation

Tableau 4. Indice de consommation hebdomadaire sur la période d'essai

	S1	S2	S3	S4
Lot 1	1,152 a	1,654 a	1,709	1,809
Lot 2	1,285 b	1,668 a	1,744	1,779
Lot 3	1,275 b	1,477 b	1,664	1,810
p	***	***	NS	NS

Les moyennes sont significativement différentes au seuil $p < 0,001$ pour *** - NS : non significatif

L'indice de consommation est significativement plus élevé pour les lots 2 et 3 lors de la première semaine d'élevage. Par contre, sur la deuxième semaine d'essai, le lot 3 est significativement inférieur aux deux autres lots.

CONCLUSION

La distribution de l'aliment démarrage gibier (lot 2 et lot 3) a permis de stimuler la consommation des

pintadeaux de façon significative pendant la période de distribution (1 à 7 jours).

A la fin de la période d'essai (J31) le poids vif des animaux du lot 3 est accru de manière hautement significative (+6%) par rapport au lot témoin 1.

Un essai du même type sur la phase croissance est en cours.

REMERCIEMENTS

Merci au personnel de la station NUTRICIA de POMAREZ (40) pour le soin apporté à la conduite de cet essai.

Ce travail a été financé par le Conseil Régional d'Aquitaine et l'Institut Technique de l'Aviculture.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ARVOL. 2005 - Compte rendu d'expérimentations volailles de qualité.

REACTIONS DU POULET ROSS A L'ALIMENTATION SEQUENTIELLE

Bouvarel Isabelle¹, Chagneau Anne Marie², Vilariño Maria³, Juin Hervé⁴, Lescoat Philippe², Métayer Jean-Paul³, Lessire Michel², Crépon Katell⁵, Etave Guillaume⁶, Tesseraud Sophie², Leterrier Christine⁷

¹ITAVI, UR83 Recherches Avicoles, 37380 Nouzilly,

²INRA, UR83 Recherches Avicoles, 37380 Nouzilly,

³Arvalis- Institut du végétal, 41100 Villerable

⁴INRA, Le Magneraud, 17700 Surgères

⁵Unip-Onidol, 75008 Paris

⁶INZO°, 02402 Château-Thierry

⁷UMR PRC 37380 Nouzilly

Ce travail a été réalisé dans le cadre de l'Unité Mixte Technologique BIRD
(Biologie et Innovation pour la Recherche et le Développement en aviculture)

RÉSUMÉ

L'alimentation séquentielle consiste à fournir plusieurs aliments contrastés, distribués en alternance à l'animal au sein de cycles de un à quelques jours. Cette méthode nécessite de maîtriser la consommation de chaque aliment, c'est pourquoi nous avons étudié son effet sur l'ingestion et ses conséquences sur les performances de croissance du poulet (Exp. 1-2), ainsi que sur les consommations mesurées à court et moyen terme (Exp. 3). Un lot témoin (T) a reçu un aliment témoin complet distribué en continu et un lot (S), deux aliments distribués séquentiellement durant des cycles de 48h, à partir de 14 jours d'âge : E+P- hyper énergétique et hypo-protéique et E-P+ hypo énergétique et hyper protéique. Les expériences 1 et 2 indiquent une diminution significative des performances de croissance des lots S (-6% sur le poids vif à J28 ou J30), due à une sous-consommation, en particulier de l'aliment E-P+. Cet effet est plus marqué lorsque la séquence débute avec l'aliment E+P-. Lors de l'expérience 3, les cinétiques de consommation intradiennes comparées à celles d'un aliment témoin, témoignent d'une sous-consommation immédiate et durable dans la journée, de l'aliment E-P+ : -9% après une heure de distribution et -1% le reste de la journée. La sous-consommation sur la journée (-2%) perdure si l'aliment E-P+ est distribué durant trois jours successifs. Dans les situations testées, l'alimentation séquentielle paraît exacerber la réaction des animaux face à deux aliments, en engendrant une sous consommation globale pénalisant les performances de croissance.

ABSTRACT

Sequential feeding is a 48h-cycle feeding programme of two feeds, one protein-rich-energy-poor and one energy-rich-protein-poor. The intake of each sequential feed is an essential key to reach an overall nutritional balance with sequential feeding. Therefore, for the present study, it was of interest to investigate the effect of sequential feeding on feed intake and consequences on growth performances of chickens (Exp. 1-2), and short- and long-term feed intake (Exp. 3). A control group (T) was fed with a standard diet, whereas for the sequential group (S), four cycles of 48h were used for sequential feeding of two different diets : E+P- energy-rich-protein-poor and E-P+ energy-poor- protein-rich. Experiments 1 and 2 showed a significant decrease of growth with S (-6% for live weight at d28-30), due to low intake of feed and especially for E-P+. This effect was greater when the cycle started with E+P-. For experiment 3, feed intake kinetics indicated under- and durable feed intake of E-P+ : -9% after 1 h of distribution, -1% the rest of the day, -2% at 24, 48 and 72h. In this situation, sequential feeding seemed to exacerbate how animals reacted by decreasing feed intake, which penalizes growth performance.

INTRODUCTION

L'alimentation séquentielle est un mode de distribution de l'aliment permettant de gérer et de moduler les tendances de consommation naturelles du poulet, tout en recréant partiellement les conditions d'une alimentation plus variée (Gous et Du Preez, 1975 ; Rys et Koreleski, 1980). Elle peut également par le jeu de la formulation, permettre d'abaisser le coût alimentaire. Néanmoins, la clef essentielle à maîtriser pour atteindre un équilibre alimentaire global avec l'alimentation séquentielle, est la consommation de chaque aliment. Il a été démontré en conditions pratiques d'élevage, sur des poulets Vedette, que la distribution séquentielle de deux aliments individuellement « déséquilibrés » variant par leurs concentrations énergétique et protéique, et au cours de cycles de 48h, permet des performances de croissance identiques à celles obtenues avec une alimentation complète (Bouvarel et al, 2004). La faisabilité de cette distribution séquentielle demande à être vérifiée pour le poulet Ross, actuellement très largement utilisé.

Trois expériences ont été réalisées en cages et au sol afin d'évaluer l'impact de l'alimentation séquentielle au cours de cycles de 48h sur l'ingestion, et ses conséquences sur les performances de croissance du poulet mâle Ross PM3. La première expérience avait pour objet de comparer une alimentation séquentielle à une alimentation continue chez des animaux élevés en cage individuelle, de J14 à J29. La deuxième expérience a permis de compléter les résultats de l'expérience précédente avec des animaux élevés au sol. La troisième expérience visait à mieux comprendre la réaction à court et plus long terme, de poulets soumis à un aliment hyperprotéique et peu énergétique durant trois jours successifs.

1. MATERIEL ET METHODES

L'aliment démarrage présentait les caractéristiques nutritionnelles suivantes pour les trois expériences : EM=2900 kcal/kg, MAT=21% et lysine totale=1,19%. L'ensemble des aliments est à base de blé, maïs, tourteau de soja et huile de colza. Les aliments sont sous forme de granulés de 2,5 mm de diamètre et de 6 mm de longueur.

Pour les deux premières expériences, deux traitements ont été comparés : (T) un aliment témoin complet distribué en continu et (S) deux aliments distribués séquentiellement durant des cycles de 48h : E+P- hyper énergétique et hypo protéique et E-P+ hypo énergétique et hyper protéique (Tableau 1). L'aliment E+P- est le premier de la séquence dans le lot S_E, et E-P+, dans le lot S_P.

Les caractéristiques nutritionnelles de l'aliment témoin sont identiques à celles en séquentiel, d'un aliment reconstitué sur la base d'une consommation de 55% de E+P- et 45% de E-P+. La durabilité des aliments E-P+ est supérieure à celle des aliments E+P-, plus riche en matières grasses.

Les changements d'aliment ont eu lieu le matin, dès l'allumage. La durée d'éclairage était de 16h.

1.1. Expérience 1

Cent poulets ont été placés en cage dès leur arrivée, par groupe de 2 jusqu'à la mise en lot à J13, effectuée sur la base du poids corporel. Les 48 animaux retenus ont été alors placés chacun dans une cage : 24 animaux ont subi le traitement T, 12, S_E, et 12 S_P. Les performances de croissance (consommation journalière, gain de poids, IC) ont été mesurées de J14 à J30.

1.2. Expérience 2

L'expérience a été réalisée dans 24 parquets de 82 animaux mis en place. L'alimentation séquentielle a été pratiquée de J14 à J27, et a démarré par E+P- (S_E) ou E-P+ (S_P). A partir de J14, la consommation a été mesurée tous les jours. Les animaux ont été pesés à J14 et J28.

1.3. Expérience 3

Les deux expériences précédentes ayant montré une sous-consommation des poulets soumis à une alimentation séquentielle, et en particulier de l'aliment E-P+, cette expérience 3 a cherché à étudier plus finement la cinétique de consommation de cet aliment. Elle a été réalisée en cage individuelle, au cours de trois séries successives de respectivement 16, 96 et 96 poulets, à partir de 14 et 15 jours d'âge pour les séries 1 et 2-3, respectivement. La mise en lot a été effectuée sur le poids vif, deux jours avant le changement d'aliment (T ou E-P+) et sur la consommation le jour précédent. Les consommations ont été ensuite mesurées 1, 24, 48 et 72h après le changement d'aliment.

1.4. Statistiques

Des analyses de variance à un facteur (traitement) et des comparaisons de moyenne (test de Student) ont été réalisées à l'aide du logiciel Statview pour les expériences 1 et 2. Pour l'expérience 3, une analyse de covariance à deux facteurs (série et traitement) a été effectuée avec la consommation à J-1 comme covariable.

2. RESULTATS

2.1. Expérience 1 (Tableau 2)

Durant les deux semaines d'expérimentation, la consommation totale des aliments distribués

séquentiellement a été inférieure de 9% à celle de l'aliment complet témoin ($P<0,01$). Les consommations des aliments E+P- et E-P+ ont représenté respectivement 57 et 43% de la consommation totale, ce qui correspond sensiblement aux proportions de 55 et 45% utilisées pour la formulation. Le lot S_E tend à présenter une consommation globale plus faible que S_P mais ceci n'est pas significatif au seuil choisi de 5 % ($P=0,07$).

La consommation totale de l'aliment E+P- n'a pas différé significativement de celle des poulets recevant l'aliment complet, contre une diminution de 22% pour l'aliment E-P+ ($P<0,01$).

La cinétique d'ingestion quotidienne est présentée en figure 1. Le premier jour d'alimentation séquentielle (J14), les consommations n'ont pas été significativement différentes entre traitements. Des sous consommations significatives ont été observées systématiquement ensuite entre l'aliment E-P+ et le témoin distribué dans la même période.

Le poids moyen des animaux à l'issue de l'expérimentation a été réduit de 7% avec l'alimentation séquentielle, comparé à celui des animaux témoin ($P<0,0001$) mais l'indice de consommation n'a pas été significativement modifié (+1,3%).

La même relation linéaire a été observée entre le poids des animaux à 28 jours et leur consommation durant la période expérimentale, pour les lots témoin et expérimentaux ($R^2=0,90$, $P<0,001$).

2.2. Expérience 2 (Tableau 3)

Cette deuxième expérience réalisée avec des poulets élevés au sol a confirmé les résultats de la précédente. Ainsi, la consommation totale des aliments distribués séquentiellement a été inférieure de 6% à la consommation de l'aliment complet ($P<0,01$). Les consommations des aliments E+P- et E-P+ ont représenté en moyenne respectivement 58 et 42% de la consommation totale.

Les cinétiques d'ingestion quotidienne sont très proches pour les deux expériences (Figure 1). L'ordre d'alternance des deux aliments a eu un effet significatif sur l'ingestion de E+P- et E-P+. Lorsque l'aliment E-P+ a été distribué en premier au cours du cycle (S_P), la consommation totale n'a pas été significativement différente de celle du témoin (-3%) tandis que dans l'autre cas (S_E), elle est réduite de 9%. Les consommations respectives de l'aliment E-P+ sont identiques pour les deux traitements S_E et S_P et beaucoup plus faibles que celle du témoin (-22%). En revanche, les consommations de E+P- ont été supérieures à celle du témoin de 4% pour S_E et de 16% pour S_P .

Le poids moyen des animaux à l'issue de l'expérimentation a été réduit de 6% avec l'alimentation séquentielle, comparé aux animaux témoins et l'indice de consommation a été dégradé

en moyenne de 3,7% ($P<0,01$). Les effets sont plus marqués pour le traitement S_E .

De la même manière que pour l'expérience 1, une relation linéaire a été observée entre le poids des animaux à 28 jours et leur consommation durant la période expérimentale ($R^2=0,94$, $P<0,01$).

2.3. Expérience 3 (Figure 2)

La réaction à court terme des poulets a été mesurée le premier jour de distribution des aliments E-P+ et T. L'aliment E-P+ a été sous consommé immédiatement et significativement dès la première heure de distribution, comparé à T, avec des effets Série et Covariable significatifs. Cette sous consommation s'est élevée à -9% la première heure de distribution et à -1% le reste de la journée ($P<0,01$). L'aliment E-P+ a été sous consommé durant les trois jours de distribution successifs (-2%), avec globalement des effets Série et Covariable significatifs.

3. DISCUSSION

L'alimentation séquentielle telle que pratiquée lors des expériences 1 et 2 n'a pas permis d'obtenir des performances de croissance similaires à celles obtenues avec un aliment complet équilibré, bien que les proportions théoriques des deux aliments aient été respectées. Cette dégradation de la croissance pondérale des animaux est due uniquement à une sous-consommation globale des aliments. Le poids des animaux est en effet lié linéairement à leur consommation. Par ailleurs, Bouvarel et al. (2004) n'avaient montré aucun effet mesurable de l'alimentation séquentielle sur la digestibilité des nutriments.

Dans nos expériences, l'aliment hyper protéique (et pauvre en énergie) comparé au témoin est sous consommé, tandis que l'aliment énergétique (et peu protéique) est consommé comme le témoin lors des premiers cycles de distribution. Les poulets élevés en cage ou au sol ont exprimé globalement des réponses similaires en terme d'ingestion. Les poulets alimentés avec l'aliment énergétique (et peu protéique) lors du premier jour du cycle comparé à l'aliment protéique (et peu énergétique), ont eu des niveaux d'ingestion plus faibles qu'avec l'aliment protéique (et pauvre en énergie).

La tendance naturelle des poulets à consommer préférentiellement l'aliment riche en énergie (ou pauvre en protéines) a déjà été observée. Mais la distribution des aliments sur des cycles de 48h permettait d'atteindre des consommations globales comparables à celles obtenues avec une alimentation complète, avec des poulets Cobb ou Vedette (Bouvarel et al., 2004).

Nos résultats suggèrent bien un ajustement métabolique de l'ingestion, puisque les aliments ont été consommés dans les proportions escomptées, mais également une interaction entre la présentation

des aliments et le mode d'alimentation. La prise alimentaire peut en effet s'ajuster au niveau métabolique, sur les deux concentrations énergétique et protéique en évitant un déficit énergétique et un excès de protéine, comme observé par Bouvarel et al. (2004).

L'étude des cinétiques d'ingestion indique que la sous consommation de l'aliment protéique (et peu énergétique) est immédiate et durable, en alimentation continue. Cette baisse est toutefois inférieure à celle observée en alimentation séquentielle, certainement du fait d'une modulation liée à la composition de l'aliment. Cette réaction immédiate indique une réaction sensorielle des poulets face à des aliments de caractéristiques physiques différentes (Picard, 2002). Les caractéristiques chimiques respectives des deux aliments impactent en effet leurs caractéristiques physiques. L'aliment protéique et peu énergétique présente notamment une durabilité et une longueur des granulés plus importantes (Tableau 1) mais également certainement une dureté plus élevée. Nir et al, 1994 ont montré que les poulets consomment en quantité moindre un aliment dur. La dureté associée à une longueur plus élevée des granulés est éventuellement un frein à l'ingestion chez le poulet Ross peut-être plus sensible que la Vedette.

CONCLUSION

Dans les situations testées, l'alimentation séquentielle paraît exacerber la réaction des animaux face à deux aliments, en engendrant une sous consommation globale pénalisant ainsi les performances de croissance. Plusieurs facteurs peuvent être mis en cause : une sensibilité accrue à la présentation de l'aliment, des difficultés d'adaptation du métabolisme, ou encore un apprentissage trop tardif.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bouvarel, I.; Barrier-Guillot, B.; Larroude, P.; Boutten, B.; Leterrier, C.; Merlet, F.; Vilarino, M.; Roffidal, L.; Tesseraud, S.; Castaing, J.; Picard, M. 2004. *Poult. Sci.*, 83: 49-60.
- Gous, R. M., and J. J. Du Preez. 1975. *Br. J. Nutr.* 34:113-118.
- Nir I., Twina Y., Grossman E. et Z. Nitsan, 1994. *B. Poult. Sci.*, 35 : 589-602.
- Picard M., Melcion J.P., Bertrand D. et J.M. Faure, 2002. In *Poultry Feedstuffs : supply, composition and nutritive value*, 279-300.
- Rys, R., and J. Koreleski. 1980. *Arch. Tierernahr.* 30:133-139.

Tous nos remerciements à K. Gérard pour son aide, et à l'enveloppe de recherche ACTA et le CAS DAR pour leur soutien financier.

Figure 1. Consommations quotidiennes – Expériences 1 et 2

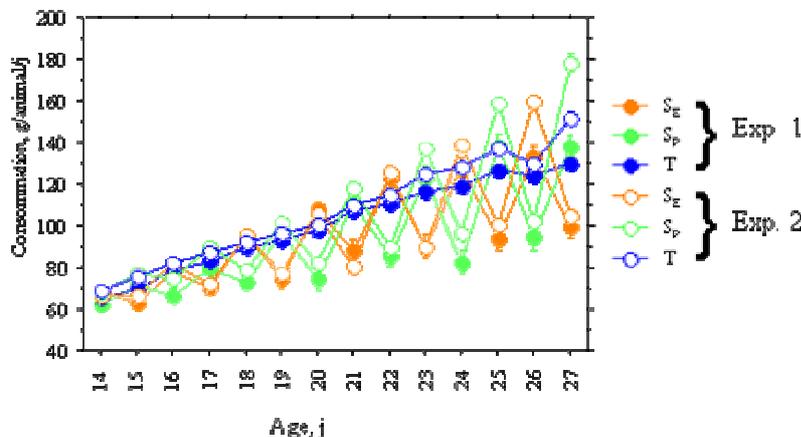


Figure 2. Evolution de la consommation pendant les 72 heures suivant le changement de régime – Expérience 3

** : P<0,01 ; * : P<0,05

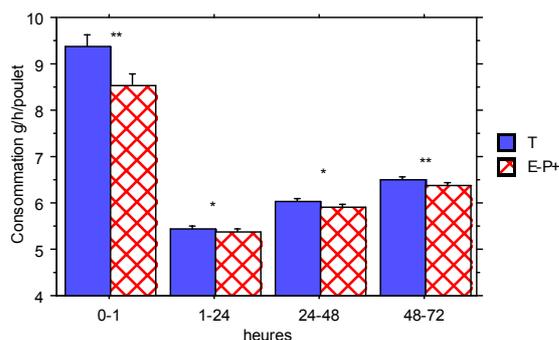


Tableau 1. Caractéristiques nutritionnelles et physiques des aliments distribués au cours des trois expériences

	T			E+P-		E-P+		
	Exp1	Exp2	Exp3	Exp1	Exp2	Exp1	Exp2	Exp3
Caractéristiques nutritionnelles (%)								
EM (kcal / kg)	3080	3000	3000	3270	3250	2855	2700	2800
Matière grasse	5,8		5,8	6,8		2,9		
Protéines brutes	17,6	18,0	17,6	14,3	12,6	22,1	24,6	22,0
Lysine totale	1,01	1,05	1,01	0,75	0,74	1,32	1,43	1,26
Caractéristiques physiques mesurées								
Longueur, mm	nm	nm	5,7±0,1	nm	nm	nm	nm	6,3±0,1
Durabilité, %	87	63	86	82	49	92	91	92

Tableau 2. Consommations et performances de croissance (n= 24 poulets par traitement) – Expérience 1

Traitement	T	S ²	P<
Consommation J14-J29, g			
E+P-	832¹	872	NS
E-P+	852a¹	665b	***
Total	1684a	1537b	**
E+P- / Total, %	49b	57a	***
Poids, g			
J14	348	348	NS
J30	1427a	1321b	**
IC J14-J30	1,561	1,581	NS

¹ Consommation de T un jour sur deux ; ² Pas d'effet significatif de l'ordre de distribution des aliments
 Les moyennes portant des lettres différentes présentent des écarts significatifs au seuil $\alpha=5\%$
 *** : P<0,001 ; ** : P<0,01 ; NS : Non Significatif

Tableau 3. Consommations et performances de croissance (n=8 parquets par traitement) – Expérience 2

Traitement	T	S _E	S _P	P<
Consommation J14-J27, g				
E+P-	746c	776b	862a	***
E-P+	757a	593b	594b	***
Total	1503a	1369b	1456a	***
E-P+ / Total, %	50b	57a	59	***
Poids, g				
J14	413	417	415	NS
J28	1428a	1299c	1377b	***
IC J14-J28	1,483c	1,555a	1,521b	***

Les moyennes portant des lettres différentes présentent des écarts significatifs au seuil $\alpha=5\%$
 *** : P<0,001 ; ** : P<0,01 ; * : P<0,05 ; NS : Non Significatif

REACTION A COURT TERME DES DINDONNEAUX FACE A DES ALIMENTS DE CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DIFFERENTES

Chagneau Anne Marie¹, Laviron Florence³, Lamy Sophie⁴, Bouvarel Isabelle²
Picard Michel¹, Lessire Michel¹, Lescoat Philippe¹

¹ INRA UR83 Recherches Avicoles, 37380 Nouzilly,

² ITAVI, UR83 Recherches Avicoles, 37380 Nouzilly,

³ Stagiaire Master 2 Productions Animales, Environnement, Hygiène et Qualité, 37000 Tours

⁴ Stagiaire 4^{ème} année ESA 49000 Angers

Ce travail a été réalisé dans le cadre de l'Unité Mixte Technologique BIRD
(Biologie et Innovation pour la Recherche et le Développement en aviculture)

RÉSUMÉ

En aviculture et plus particulièrement chez le dindon, les transitions alimentaires peuvent entraîner des problèmes d'identification de l'aliment et donc des sous consommations. L'adaptation des animaux à de nouveaux aliments dépend en grande partie de leurs caractéristiques physiques.

Deux essais ont permis d'étudier la réaction à court terme aux changements d'aliment de dindonneaux âgés de 25 à 31 jours. Une trentaine d'aliments commerciaux ont été caractérisés selon 17 paramètres physiques, puis testés sur les animaux en notant la consommation et le nombre de coups de bec pendant 95 minutes, grâce à un appareil spécifique de comptage automatique. Les résultats ont mis en évidence des réponses différentes selon les aliments. Une discrimination entre les aliments est observée dès 30 minutes grâce au système de comptage automatique des coups de bec. La taille des particules est l'un des paramètres importants influençant l'intérêt des animaux pour un aliment. Cependant, certains aliments de caractéristiques physiques classiques similaires ont présenté des réponses opposées. Ces mêmes aliments ont été décrits de façon complémentaire par analyse d'image. Des paramètres de couleur et de texture ont été reliés à la réaction des animaux mesurée dans nos conditions expérimentales. Ces premiers résultats sont encourageants car ils ouvrent des champs d'explication concernant le comportement alimentaire des volailles à court terme basés sur des aspects visuels et tactiles.

ABSTRACT

In poultry and specifically for turkeys, feed transitions could lead to feed identification problems and consequently to lower intake. Animal response to new feeds seems to rely on their physical parameters.

Two trials studied short term responses of 4 weeks-old turkeys to feed changes. Thirty commercial feeds were characterized on 17 physical parameters and proposed to turkeys. Number of pecks (automatically) and feed intake (manually) were measured during 95 minutes. Results showed contrasted responses depending on the feed. Discriminations between feeds were measured as soon as 30 minutes after the diet supply, thanks to the automated peck counter. Particle size was a significant parameter regarding the animal behaviour. Nevertheless, turkeys with some feeds with similar characteristics had contrasted responses. Image analysis was performed on the pellets and additional parameters (shape, colour, texture) were measured. Parameters related with colours and texture explained part of the animal responses in our experimental design. These preliminary results support additional studies regarding the short-term feeding behaviour explanation with visual and tactile acts.

INTRODUCTION

De nombreux cas de refus alimentaires sont constatés en élevages de dindes, ils surviennent au moment d'un changement d'aliment. Ce problème d'élevage a pour conséquence majeure une prise alimentaire moindre, un déséquilibre nutritionnel, entraînant un confort moindre des animaux, pouvant aller jusqu'aux déclenchements de troubles intestinaux. Pour l'éleveur, le revenu peut être diminué et il en est de même pour les industriels qui doivent intervenir auprès des éleveurs en cas d'incident, reprendre l'aliment et faire une nouvelle livraison.

Ces altérations d'acceptabilité de l'aliment à court terme pourraient être partiellement liées à des paramètres physiques comme la taille, la dureté, la couleur, l'hétérogénéité visuelle ou la forme des particules (Picard et al., 2002). Yo et al., (1997) ont montré que les deux tiers du picorage de jeunes poulets n'aboutissent pas à la préhension d'une particule d'aliment, suggérant ainsi que le coup de bec est associé au contact et à l'exploration de l'aliment. Des études ont été réalisées pour évaluer l'influence des caractéristiques des aliments : taille, poids, forme (Nir et al., 1994 ; Yo et al., 1997) et couleur (Chagneau et al., 2003) chez les volailles. Deux limites peuvent être apportées aux précédentes études. L'analyse détaillée du comportement de l'ingéré chez les oiseaux nécessite des codages et visionnages au ralenti de bandes vidéo (méthode lourde à mettre en place) et les facteurs physiques étudiés expérimentalement peuvent différer de l'alimentation réelle utilisée dans la production. L'étude que nous avons mise en place a deux objectifs :

1) Vérifier si une méthode de comptage automatique de coups de bec peut être un outil utile pour mesurer les réactions de consommation à court terme de la dinde (Chagneau et al., 2005).

2) Évaluer si les caractéristiques physiques d'aliments commerciaux peuvent influencer les réactions de consommation à court terme.

Les essais sont réalisés, avec une trentaine d'aliments commerciaux prélevés en usines, sur des dindes de 4 semaines, un âge pouvant poser des problèmes de transition alimentaire dans les élevages.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Aliments

33 aliments commerciaux, (31 granulés et 2 miettes) provenant de 7 sociétés de nutrition animale sont testés. Ils sont formulés de façon à couvrir les besoins de production de dindes âgées de 21 à 35 jours. Un aliment témoin est aléatoirement choisi parmi les 31 aliments granulés ; il est distribué aux animaux avant et entre les tests afin d'évaluer les effets de

l'expérimentation (série, jour, séquence de la journée). Différentes caractéristiques physiques classiques sont mesurées sur les aliments : densité (Autotap), couleur (spectrocolorimètre Hunterlab), dureté (duromètre Schleuniger), durabilité (durabilimètre Eurotest), longueur et poids. De plus, une analyse d'image à partir de 20 granulés par aliment a permis d'isoler des caractéristiques de texture, couleur et forme ainsi que leurs variabilités (Hachemi, 2005).

1.2. Animaux et déroulement des essais

Deux expériences successives sont réalisées. De 1 à 24 jours d'âge, les dindons mâles (souche BUT9) sont nourris avec un aliment démarrage présenté en miettes et élevés en cages individuelles, avec, à partir de 8 jours et jusqu'à la fin des essais, un programme lumineux adapté à l'expérimentation (alternance de 1h40 de lumière et 1h d'obscurité). A 25 jours d'âge, les dindons retenus pour les tests (sélectionnés sur le poids moyen du groupe) reçoivent l'aliment témoin. Les aliments expérimentaux et témoin sont testés sur les dindons âgés de 28 à 31 jours (4 jours consécutifs et 4 séquences par jour de 95 minutes, correspondant aux phases d'éclaircissement).

- Déroulement des essais

Expérience 1. Quatre groupes de 12 dindons sont utilisés successivement (un groupe par semaine). Dans chaque groupe, 4 animaux reçoivent l'aliment témoin en permanence, et 8 reçoivent successivement 16 aliments expérimentaux différents : chaque aliment est mesuré une fois par jour durant 4 jours, à des séquences journalières différentes. D'un groupe à l'autre, l'ordre de présentation des aliments est modifié. Au total chaque aliment est évalué 16 fois et 256 mesures sont obtenues pour l'aliment témoin.

Expérience 2. Quatre aliments sont choisis selon les résultats de l'expérience 1. Tous ont des caractéristiques physiques semblables (poids et taille), mais diffèrent par les résultats de comportement alimentaire : nombre de coups de bec : bas pour les aliments F08 et F31 et élevé pour F18 et F21. Ils sont testés sur un groupe de 12 dindons. Chaque aliment est distribué à 3 animaux par séquence et par jour (l'ordre est modifié chaque jour). Par conséquent, chaque aliment a été mesuré 48 fois (4 séquences par jour*4 jours*3 dindons).

- Mesures réalisées

Le nombre de coups de bec est enregistré 5 minutes après le changement d'aliment puis toutes les 10 minutes. La consommation d'aliment est mesurée à 5 puis à 95 minutes après la distribution.

1.3. Analyse statistique

Les données sont analysées en utilisant le logiciel SYSTAT (2004). Compte tenu de la variabilité des réponses observées, aussi bien dans des études préliminaires que dans cette étude, ainsi que de

l'objectif de ces expériences (classement des aliments sans interférence des animaux), les données (nombre de coups de bec (nbre de cdb), consommation et efficacité (consommation/nbre de cdb), sont transformées selon une distribution normale $N(0,1)$ pour chaque animal. Les trois variables transformées ont été appelées : nombre de cdb^t, consommation^t et efficacité des cdb^t.

2. RESULTATS

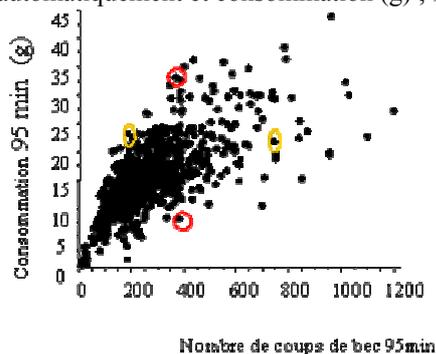
2.1. Aliments (Tableau 1)

Pour la plupart des critères mesurés l'aliment témoin a des valeurs supérieures à la moyenne des aliments expérimentaux. La longueur moyenne des granulés des aliments expérimentaux et leur poids varient de 4,7 à 8,1 mm et de 26,2 à 98,8 mg, respectivement (aliment témoin 7,3 mm). La dureté des 30 aliments est comprise entre 0,93 à 2,13 MPA contre 2,22 Mpa pour l'aliment témoin. De même, la durabilité de l'aliment témoin (89,5) est supérieure à la moyenne (84,4) des aliments expérimentaux. Les paramètres de couleur L^* , a^* et b^* varient quant à eux de 40,3 à 62,4, de 4,0 à 9,1 et de 19,0 à 30,5, respectivement. Le témoin est relativement clair ($L^* = 57,5$).

2.2. Expérience 1 (Tableau 1 et Figure 1)

L'analyse de variance sur l'aliment témoin montre que les effets du groupe, du jour, de la séquence de la journée et leurs interactions respectives sur le nombre de cdb^t, la consommation^t et l'efficacité des cdb^t ne sont pas significatifs. On observe une variabilité du nombre de cdb et de la consommation entre les aliments. La consommation moyenne (15,3 g) du témoin est très proche de celle des autres aliments. Le nombre de cdb est plus faible pour le témoin (215) que pour la moyenne des aliments expérimentaux (312,9 ; 216,1-481,5). L'efficacité de picorage est supérieure avec le témoin, les animaux y étant habitués. Mais plus globalement, de grandes variations sont observées lorsque l'on regarde la relation entre le nombre de cdb et la consommation : consommation d'aliment basse (10 g) et nombre de cdb variant de 100 à 400, ou 400 cdb pour une consommation variant de 10 à 30 g.

Figure 1. Relation entre nombre de cdb mesuré automatiquement et consommation (g) ; 95 minutes



L'analyse de variance montre que l'aliment n'a pas d'effet sur la consommation ($P > 0,10$) mais qu'il influence le nombre de cdb^t et l'efficacité du picorage^t ($P < 0,001$). La classification hiérarchique ascendante CAH basée sur les moyennes et écart-types du nombre de cdb^t, de la consommation^t et de l'efficacité du picorage^t a permis de distinguer 3 groupes d'aliments (Tableau 2). La consommation^t est identique entre les 3 groupes, tandis que l'on observe des différences significatives pour le nombre de cdb^t et l'efficacité du picorage^t : nombre de cdb plus bas et efficacité du picorage plus élevée pour le groupe 1 par rapport au groupe 3. Le groupe 2 est intermédiaire. Les granulés du groupe 3 sont plus courts (4,95 mm) que ceux des deux autres groupes (6,23 et 6,16). Les diamètres moyens suivent les mêmes tendances. Les duretés et durabilités ne sont pas différentes entre les groupes. Les aliments du groupe 3 sont plus clairs que ceux du groupe 2. Les aliments des groupes 1 et 2 (caractéristiques physiques moyennes équivalentes) ont occasionné des réponses différentes pour le nombre et l'efficacité des cdb. Ces résultats ont conduit à réaliser l'expérience 2 pour comparer 2 aliments de chacun de ces deux groupes, F08 et F31 puis F18 et F21 respectivement pour les groupes 1 et 2, et vérifier la cohérence des réactions des dindons.

2.3. Expérience 2

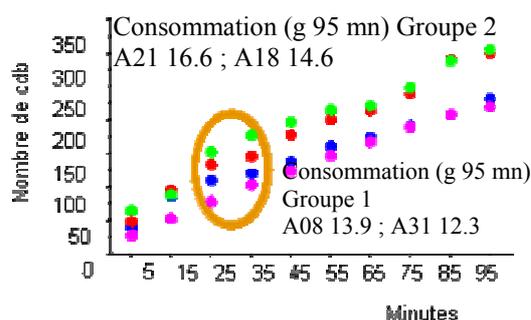
La consommation est significativement plus basse dans le groupe 1 (-0.195) comparée au groupe 2 (0.193). De même, le nombre de cdb^t après 25 et 95 minutes est significativement plus bas dans le groupe 1 (-0.205 et -0.241) comparé au groupe 2 (0.221 et 0.260) ; aucune différence observée entre les deux groupes pour l'efficacité du picorage^t.

3. DISCUSSION ET CONCLUSION

La distribution d'aliments commerciaux a entraîné des variations importantes de la consommation, du nombre et de l'efficacité des cdb.

L'aliment témoin, distribué avant et entre les aliments expérimentaux, bien que choisi aléatoirement, contient des granulés relativement longs et durs, ce qui pourrait avoir facilité l'adaptation des dindons et influencé leurs réactions aux autres aliments. Dans les conditions de production, pour une même période d'élevage, les dindons passent d'une alimentation miettes à une alimentation granulés ce qui pourrait entraîner des réactions plus fortes que dans cette étude (Lamy et al., 2005). La variable consommation n'est pas suffisante pour classer les aliments de la première expérience. Les aliments de l'expérience 1 sont discriminés par le critère nombre de cdb sur 95 minutes, résultat confirmé dans l'expérience 2 dès 25 minutes (Figure 2).

Figure 2. Réponses des dindons aux aliments des groupes 1 et 2.



Le nombre de coups de bec varie selon la taille, la forme et la dureté des particules alimentaires. Le coup de bec est une série rapide d'actes contrôlés par les réactions visuelles et tactiles aux caractéristiques physiques des particules (Picard et al., 1997). Un changement de texture de l'aliment modifie le comportement en augmentant la durée des périodes d'observation et la proportion de cdb exploratoires (Martaresche et al., 2000). Par conséquent, l'utilisation d'un système automatique de comptage des cdb peut être un outil approprié à ces études, toutefois plusieurs aspects pourraient être améliorés : distinction entre cdb efficaces et exploratoires, choix entre particules selon la taille ou les caractéristiques, enregistrement simultané de la consommation et du picorage. Dans nos études, l'efficacité du picorage est exprimée comme la proportion entre la consommation et le nombre de cdb donnés à l'aliment pendant 95 min. L'efficacité dépend de la taille des particules, les particules plus petites exigent plus de picorage pour une même quantité consommée, ce qui réduit l'efficacité. Avec les trois groupes d'aliments obtenus dans l'expérience 1, des consommations relativement semblables ont été observées avec une augmentation du nombre de cdb et une diminution de l'efficacité du groupe 3 composé de plus petits granulés. Les paramètres dimensionnels n'expliquent pas toutes les variations de consommation puisque les caractéristiques physiques mesurées étaient, en moyenne, semblables entre les groupes 1 et 2. De plus, l'expérience 2 a confirmé les différences des réactions des dindons avec des aliments aux tailles de particules semblables. Des paramètres complémentaires comme la dureté pourraient avoir été responsables de la diminution de la consommation (Nir et al., 1994). Dans l'expérience 1, la dureté et la durabilité des groupes 1 et 2 sont semblables mais l'aliment témoin a la valeur la plus haute et peut avoir influencé les réactions des dindons. Dans des conditions de choix, les dindons expriment des préférences à court terme pour un aliment clair (Chagneau et al., 2003). Dans nos études les différences de couleur ne peuvent pas expliquer les réactions obtenues. Les oiseaux ont des capacités visuelles supérieures aux mammifères

(Dawkins et Woodington, 1997) et pourraient par conséquent distinguer beaucoup plus précisément que l'oeil humain des détails des particules d'aliment. Les résultats (nbre de cdb) de l'expérience 2 montrent dès 25 minutes une adaptation rapide des animaux à un nouvel aliment. La méthode automatique de comptage des cdb, couplée à une analyse d'image détaillée des particules de l'aliment pourrait apporter une évaluation quantitative des effets de la technologie des aliments (et/ou de la composition) sur le comportement des volailles et devenir un outil utile pour l'industrie. En utilisant une méthode d'analyse factorielle, Hachemi et al, (2007) ont pu mettre en évidence le pouvoir discriminant de paramètres obtenus par l'analyse d'images (en particulier les différentes composantes de la couleur et de la texture ainsi que leur hétérogénéité). Ces premiers résultats encourageants doivent être poursuivis par une amélioration des descripteurs et leur mise en relation avec les réponses sur animaux dans des environnements variables.

Cet article est un résumé de la publication Chagneau A.M., Laviron, F., Lamy S., Bouvarel I., Picard M., Lessire M. and P. Lescoat. 2006. Poultr.Sci. 85:923-931.

Remerciements

Les auteurs remercient :

- Les sociétés Bellavol, CCPA, Centralys, Euronutrition, Evialis, MG2MIX pour leur aide financière et la fourniture des aliments.
- K. Gérard pour le soin apporté aux animaux ; M. Chican et P. Servant ainsi qu'É. Foucher (société Deca Electronique) pour l'aide à la mise en place du système de comptages des coups de bec.
- La société TECALIMAN pour sa collaboration concernant la caractérisation des aliments.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Chagneau A.M., Penaud L. Bouvarel I., Lessire M. et Picard M. 2003. 5^{èmes} Journées de la Recherche Avicole Tours France, pp 177-180.
- Chagneau A.M., Lamy S., Bouvarel I., Lessire M., et Picard M. 2005. 6^{èmes} Journées de la Recherche Avicole. Saint-Malo France, pp 310-314.
- Dawkins MS, and A. Woodington. 1997. Anim. Behav. 54: 1019-1025.
- Hachemi R. 2005. Rapport de stage Master Recherche en Informatique, Spécialité : Langue, Image et Document (LID), Université de Caen.
- Hachemi R., Vincent N. and Loménie N. 2007. soumis au QCAV 2007 (8th International Conference on Quality Control by Artificial Vision).
- Lamy S., Chagneau, A.M., Bouvarel I, Lessire M., et M. Picard. 2005. 6^{èmes} Journées de la

- Recherche Avicole. Saint-Malo France, pp.315-319.
- Martaresche M., C. Le Fur, M. Magnusson, J.M. Faure, M. Picard. 2000. *Physiol. Behav.* 70:443-451.
- Nir I., Y. Twina, E. Grossman and Z. Nitsan. 1994. *Br. Poult. Sci.* 35: 589-602.
- Picard M., J.P. Melcion, C. Bouchot et J.M. Faure. 1997. *INRA Poussent Anim* 10:403-414.
- Picard, M., M. Plouzeau, J.M. Faure. 1999. *Ann. Zootech.* 48:233-245.
- Picard M., J.P. Melcion, D. Bertrand and J.M. Faure. 2002. 26th Poultry Science Symposium, CAB I publishing, Wallingford, pp279-300.
- SYSTAT software Inc. 2004. SYSTAT 11 Statistics, Richmond, CA.
- Yo, T., M. Vilarino, J.M. Faure and M. Picard. 1997. *Physiol. Behav.*

Tableau 1. Expérience 1 : valeurs moyennes des caractéristiques physiques des aliments, de la consommation, du nombre de coups de bec (cdb) et de l'efficacité alimentaire (mesures sur 95 min)

	Aliment Témoin		32 aliments expérimentaux			
	Moyenne	SD ¹	Moyenne	SD ²	Min	Max
Longueur (mm)	7.3	2.4	6.0	0.8	4.7	8.1
Diamètre (mm)	3.6		3.44	0.37	2.52	4.00
Poids (mg)	88.2	31.0	63.75	17.1	26.2	98.8
Densité (g.dm ⁻³)	740		714	29	625	765
Dureté (MPa)	2.22	0.28	1.70	0.31	0.93	2.13
Durabilité (%)	89.5		84.8	7.9	60.1	95.2
Couleur ⁴						
L*	57.5		53.7	5.5	40.3	62.4
a*	6.4		6.2	1.3	4.0	9.1
b*	21.7		24.0	6.9	19.0	30.5
Consommation (g)	15.3	5.4	15.6	1.95	11.70	20.71
Nombre de coups de bec	215	86.3	312.9	77.4	216.1	481.5
Efficacité du coup de bec (mg)	76.2	21.1	57.4	9.1	39.4	75.1
Consommation ³				0.280	-0.455	0.671
Nombre de coups de bec ³				0.447	-0.589	1.037
Efficacité du coup de bec ³				0.603	-1.343	1.452

¹ SD de l'aliment témoin pour longueur et poids (n=300), dureté (n=100), et pour les paramètres de consommation (n=256)

² SD pour les aliments expérimentaux (n=32 ; n=30 sans les 2 aliments en miettes)

³ Valeurs de consommation, nombre de cdb, et efficacité alimentaire transformées pour répondre à une loi normale de distribution $N(0,1)$

⁴L*=Clarté ; a*=rouge ; b*=jaune

Tableau 2. Consommation^t, nombre de cdb^t, efficacité du picorage^{t (1)} (95 min) et caractéristiques physiques des aliments des 3 groupes (par Classification Ascendante Hiérarchique) dans l'expérience 1

Classes selon CAH	1	2	3	SEM
Nombre d'aliments	10	16	6	
Consommation ^t	-0.166	0.071	0.086	0.079
Nombre de cdb ^t	-0.378 a	-0.036 b	0.725 c	0.069
Efficacité du picorage ^t	0.505 a	0.086 b	-1.058 c	0.076
Longueur (mm) ²	6.23 a	6.09 a	4.95 b	0.24
Diamètre (mm) ²	3.65 a	3.52 a	2.59 b	0.05
Poids (mg) ²	73.25 a	66.32 a	29.69 b	3.37
Densité (g.dm ⁻³)	720 a	721 a	685 b	7.87
Dureté (MPa) ²	1.79	1.70	1.45	0.09
Durabilité (%) ²	83.4	86.3	82.2	2.5
Couleur				
L*	54.8 ab	51.1 a	59.1 b	1.4
a*	6.303	6.160	6.289	0.417
b*	24.36	23.63	24.34	0.87

⁽¹⁾ Valeurs de consommation, nombre de cdb, et efficacité alimentaire transformées pour répondre à une loi normale de distribution $N(0,1)$

a-b-c test de Bonferroni : les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes (P<0.05)

² 2 valeurs manquantes pour CAH du groupe 3.

INCORPORATION DE CEREALES A LA FERME DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES DE CHAIR EN FILIERE LONGUE

**Chevalier Dylan¹, André Sophie¹, Merlet François¹, Besson Marc², Milier Eric³,
Bouvarel Isabelle⁴**

¹ *Chambre Régionale d'Agriculture des Pays de la Loire, 9 rue André Brouard, BP 70510, 49105 ANGERS Cedex 02,* ² *Arrivé Nutrition Animale, Rue Industrie, 85 250 SAINT-FULGENT,* ³ *Peigné, Le Moulin des Landes, 49 270 LANDEMONT,* ⁴ *ITAVI, UR83 Recherches Avicoles, 37380 NOUZILLY*

RÉSUMÉ

Bien que la pratique d'incorporation de céréales à la ferme dans les élevages avicoles en filière longue ne soit encore qu'un phénomène marginal, elle suscite un intérêt croissant dans un contexte avicole difficile. Un programme d'essais a été mis en place en Pays de la Loire pour en étudier les incidences techniques et économiques à l'échelle de la filière, en partenariat avec les différents acteurs concernés. Deux séries d'essais ont été réalisées en élevage avec pour objectif de tester l'utilisation de céréales provenant de l'exploitation, en mélange avec un aliment complémentaire fourni par les fabricants d'aliment et formulé de sorte que le mélange complémentaire-céréale présente les mêmes caractéristiques nutritionnelles que l'aliment complet. La première avait pour objet de tester l'incorporation de maïs humide broyé en élevage de canards de Barbarie (3 bandes suivies), et la seconde, l'incorporation de blé entier en élevage de poulets standard (4 bandes suivies), en comparaison à une alimentation classique. D'une manière générale, pour les deux séries, les performances techniques d'élevage (poids vifs, IC, mortalité, saisies) et d'abattage (rendement carcasse, rendements viande) n'ont pas été significativement différentes entre les lots témoins et expérimentaux. Seuls les poids des gésiers à l'abattoir des animaux ayant consommé le mélange complémentaire-céréale ont été significativement augmentés (en moyenne + 10 % en canards et + 35 % en poulet). Il en résulte qu'à marge aliments (complet et complémentaire) et prix de reprise des animaux équivalents entre les deux modèles alimentaires, les marges Poussin-Aliment des éleveurs sont légèrement améliorées avec l'incorporation de céréales. Toutefois, l'approche économique doit être plus globale à l'échelle de la filière et tenir compte des spécificités d'élevage (investissement matériel de récolte, de stockage et de distribution ; temps de travail...), des conséquences économiques pour les acteurs de la filière (charges fixes aliment supérieures par tonne fabriquée notamment et donc marge aliment différente) et du marché des matières premières (contexte et perspectives) au moment de la prise de décision. De nouveaux travaux doivent être maintenant menés pour mettre au point un outil économique d'aide à la décision mais également un guide technique cadre pour les éleveurs.

ABSTRACT

Although the incorporation of cereals in poultry farming is still a marginal practice, it arouses a growing interest in a difficult economic context. A partnership programme was built in the region of Pays de la Loire (France), in order to study the technical and economic impacts of this practice. Two series of on-field trials were carried out to study the use of cereals mixed with a balancer feed. The first series studied the incorporation of wet corn mash in muscovy duck production (3 flocks). The second series examines the incorporation of whole wheat in standard chicken production (4 flocks). In both trials, the technical performances (body weights, feed gain ratio, mortality) and slaughtering (meat yield, body injuries) were not significantly different between control and experimental flocks. Only the gizzard weight was significantly increased (+10% for ducks and +35% for chickens on average). The results indicate that the incorporation of cereals in poultry feeds allows for a slight improvement, especially in 'feed cost and animals' trade-in price margin. However, the economic impact has to be studied on a more global approach (investment in farm materials, work time, feed expenses, etc) which covers the poultry industry. Further studies should be carried out to develop a new technical framework for farmers and an economic tool that aids in decision-making processes.

INTRODUCTION

Dans un contexte de pressions économiques, sociales et réglementaires croissantes, avec cessations de nombreux aviculteurs, de nouvelles stratégies doivent être raisonnées pour prendre en compte les nouvelles contraintes, et agir notamment au niveau de l'aliment, premier poste de charges pour un atelier avicole.

Actuellement, dans les élevages de poulets de chair d'Europe du nord, des céréales entières (blé principalement), sont distribuées en mélange avec un aliment complémentaire. Ce mode d'alimentation permet notamment de diminuer les coûts de transformation et de transport des céréales si l'aviculteur les produit. La technique du mélange permet de contrôler la composition de l'ingéré global, et de la moduler en fonction de l'âge des poulets et des performances de croissance, le risque étant que les poulets peuvent trier les particules.

En France, seulement quelques éleveurs de poulets de chair en contrat avec une organisation de production, ont initié des démarches d'incorporation de céréales entières (blé en particulier) mais le plus souvent en association avec un aliment complet. Cette pratique peut en effet présenter des risques nutritionnels, notamment en matière de couverture des besoins protéiques de l'animal, et avoir des conséquences sur l'état d'engraissement et les rendements en viande des carcasses à l'abattoir.

Si la technique connaît aujourd'hui un développement sporadique, plus de 35 % des éleveurs de volailles de chair en filière longue des Pays de la Loire enquêtés sur le sujet en 2004 (enquête Chambre Régionale d'Agriculture des Pays de la Loire, non publiée) se disent intéressés par l'utilisation en direct de céréales à la ferme pour l'alimentation des oiseaux.

Noirot et al. (1999) avaient montré l'intérêt d'une distribution séquentielle de blé entier chez le poulet de chair standard. De plus, la valeur énergétique du blé en grains entiers mesurée sur poulets standard à 21 et 35 jours, est équivalente à celle de formes de présentation en farine ou en granulés, alors qu'elle est inférieure pour le maïs en grains entiers sec ou humide (-3%) (Barrier-Guillot et al., 1997). Les objectifs de cette étude sont d'évaluer des systèmes optimisés d'alimentation basés sur l'utilisation de céréales et de produire des premières références technico-économiques.

Deux essais ont été mis en place entre mars 2005 et mars 2006 sur l'incorporation de maïs humide broyé en élevage de canards de Barbarie et de blé entier en élevage de poulets standard.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Conditions de l'étude

Essai 1 : Canards de Barbarie

Deux lots (témoin et essai) de canards de Barbarie certifiés (Médium) sont comparés au cours de trois bandes successives (bandes 1, 2 et 3) au sein d'un élevage de la région des Pays de la Loire. Elevés d'abord ensemble au sein d'un même bâtiment démarrage, les animaux sont dégriffés, débéqués et vaccinés à 15 jours d'âge. A 25 jours pour les bandes 1 et 2, et à 36 jours pour la bande 3, les animaux sont ensuite desserrés et séparés en deux lots distincts (témoin et essai) dans un bâtiment de 685 m² coupé longitudinalement en deux, ce qui permet de tester simultanément les deux traitements. D'une bande à l'autre, la disposition des traitements dans le bâtiment est alternée. Les conditions d'élevage entre lots sont identiques en matière de densité (9 540 canards par lot, 14 animaux/m²), de sexe ratio (65 % de mâles), d'ambiance, de matériel d'alimentation et d'abreuvement. Le bâtiment est équipé de deux silos (l'un contenant l'aliment complet et l'autre l'aliment complémentaire) et chaque lot dispose d'un système d'abreuvement et d'alimentation indépendant équipé de compteurs.

Le lot témoin reçoit un aliment complet et le lot essai reçoit un mélange de maïs humide broyé incorporé (30 % sur produit brut à taux constant) et d'aliment complémentaire. Le maïs cultivé sur l'exploitation est récolté à 28 % (bandes 1 et 2) et 30 % (bande 3) d'humidité puis stocké en sacs (« big-bag ») d'environ 600 kg, sous forme de grains entiers. Après analyse du maïs (% humidité, % protéines brutes, % amidon), le fabricant d'aliment en contrat avec l'éleveur a formulé et livré un aliment complémentaire adapté, de façon à avoir un mélange (maïs humide et complémentaire) présentant les mêmes caractéristiques nutritionnelles que l'aliment complet.

Le dosage, le broyage, le mélange et la distribution de l'aliment expérimental sont assurés par un prototype de machine constituée notamment d'une benne peseuse-mélangeuse, d'un système d'expulsion pneumatique et d'un boîtier de commande (programmation et enregistrement de données) permettant une gestion automatisée de la pratique. Le maïs est grossièrement broyé pour en faciliter l'ingestion (Castaing et al, 1999).

Essai 2: Poulets standard

L'élevage de poulets standard suivi est composé de deux bâtiments identiques de 1 000 m² équipés d'un système de ventilation dynamique monolatérale basse. Quatre bandes successives sont étudiées avec alternance des traitements témoin et expérimental dans les bâtiments. Les lots (témoin et essai) sont de même effectif (22 000 par bâtiment), souche

(Hubbard F15 pour les bandes 1 et 2 et Ross PM3 pour les bandes 3 et 4) et densité (en moyenne 23 poulets/m² sur l'ensemble des bandes). Les animaux sont élevés dans des conditions similaires, mais reçoivent une alimentation différente. Le lot témoin reçoit un aliment complet et le lot expérimental, un mélange de complémentaire et de blé entier incorporé à des taux progressifs (paliers fonction des transitions alimentaires de 10 à 40 % pour la bande 1 et de 10 à 30 % pour les autres bandes). La formulation du complémentaire est adaptée au taux d'incorporation du blé entier, c'est à dire que les caractéristiques nutritionnelles de l'aliment reconstitué sont équivalentes à celles du témoin. Le stockage du blé est effectué sur l'élevage dans une cellule ventilée. Le dosage de l'aliment expérimental est réalisé par un cône verseur équipé d'un système de pesée. Le mélange et la distribution sont assurés par des vis de reprise usuelles. L'incorporation est également automatisée (boîtier de commande).

1.2. Suivi expérimental

Pour les deux essais, à l'arrivée des animaux, une pesée individuelle et un contrôle des effectifs livrés sont effectués.

Les consommations d'aliment complémentaire, d'eau et de céréales, et les taux d'incorporation effectifs sont relevés quotidiennement. La consommation d'aliment complet des lots témoins est estimée à partir des bons de livraison et des stocks finaux. Pour juger de l'évolution des consommations d'aliment journalières des animaux du lot expérimental, une courbe théorique de consommation est utilisée.

Pour l'essai en poulets, des prélèvements de mélange blé-complémentaire sont également réalisés sur la bande 1 en début et fin de chaîne pour analyser l'homogénéité du mélange.

Sont suivis régulièrement : la croissance (pesées hebdomadaires de 150 canards et 200 poulets par traitement), l'état sanitaire (% mortalité, suivi des traitements...) et le comportement des animaux par la technique du scanning. Chaque semaine, pendant un temps donné (10 minutes) le nombre d'animaux par activité (mange, boit, est debout, est couché) est relevé, à 10 reprises et toujours aux mêmes heures (Picard et Faure, 1997).

Les poids vifs à l'abattage, les rendements (carcasses et filets), les taux de saisies et de griffures (essai canards), et le poids des gésiers sont enregistrés.

Les poids de gésier et rendements (carcasse et filet) sont mesurés à partir d'échantillons représentatifs d'animaux prélevés lors du déchargement et suivis jusqu'à la découpe.

Enfin, le temps de travail de l'éleveur est relevé et des simulations de coûts d'investissement (stockage et incorporation) sont réalisées.

1.3. Analyses de données

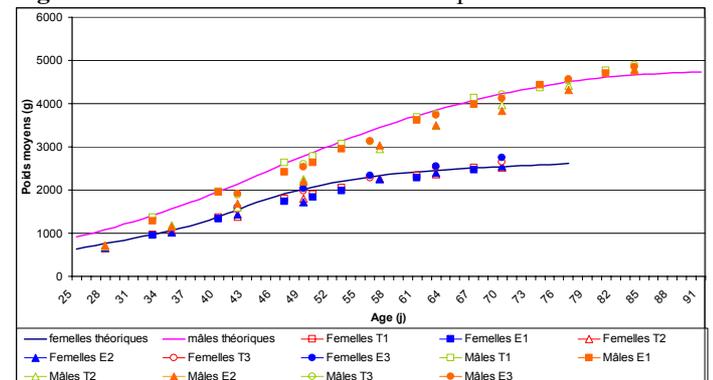
Le travail a consisté à comparer les performances zootechniques et les résultats économiques entre les lots témoin et expérimentaux pour étudier l'impact de la pratique. Sur le tableur Excel, des comparaisons de moyenne ont été réalisées (après tests d'homogénéité des données et d'égalité des variances), et un test t apparié a été utilisé pour le traitement des données comportementales.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Résultats techniques de l'essai 1

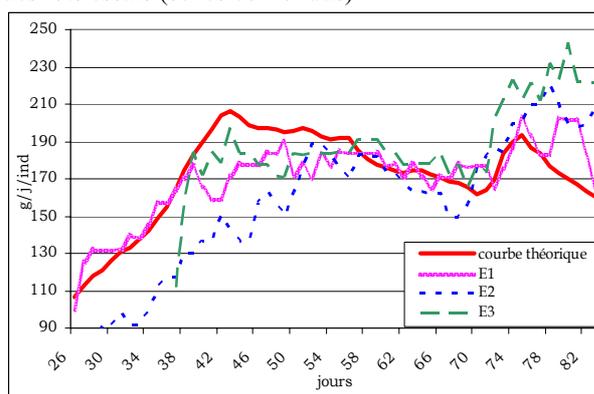
Lors des premières semaines d'élevage, la croissance des lots expérimentaux semble inférieure à celle des lots témoins et de la courbe théorique, tant pour les femelles que pour les mâles (cf. **figure 1**). Toutefois, les écarts de croissance entre lots ne sont pas significatifs, seules des tendances sont observées ponctuellement sur les bandes 1 et 2 ($p < 0.1$). Il est fort probable que les mises à jeun accidentelles liées aux arrêts ponctuels de distribution d'aliment (dysfonctionnements de la machine) subis lors des 60 premiers jours d'âge, soient à l'origine de ces faibles écarts. Ces pannes ont toutefois pu être maîtrisées en fin de période d'élevage. Les évolutions de consommation d'aliment enregistrées pour les lots expérimentaux confirment ces observations (cf. **figure 2**). Excepté pour les 10 premiers jours de relevés sur le lot expérimental de la bande 1 (E1), les trois lots expérimentaux ont présenté des consommations d'aliments inférieures à la consommation théorique jusqu'à 60 jours d'élevage. Puis les animaux nourris ad libitum, ont pu rattraper le retard de croissance en dépassant les niveaux de consommation théoriques.

Figure 1. Courbes de croissance des lots par sexe



Pour toutes les bandes, les femelles ont été abattues à 73 jours et les mâles à 85 jours (cf. **tableau 1**). On constate que les indices de consommation des lots expérimentaux ne sont significativement pas différents de ceux des lots témoins.

Figure 2. Evolution des consommations d'aliment des lots essais (sexes confondus)



Les consommations d'eau journalières ont quant à elles différé entre lots d'une bande à l'autre. On peut supposer un effet propre d'un côté du bâtiment du fait d'un nombre de points d'eau (pipettes) plus important sur un des compartiments favorisant l'accès des animaux à l'abreuvement. Au final la consommation d'eau moyenne des lots expérimentaux, exprimées par individu et par jour, s'avère légèrement inférieure à celle des lots témoins. L'apport d'eau via la consommation de maïs humide peut expliquer cette différence.

L'étude comportementale n'a pas dégagé de différences significatives entre traitements quelles que soient les bandes. Les pourcentages moyens d'animaux (sexes confondus) observés par activité sur l'ensemble de la période d'élevage sont en effet équivalents (56 % couché, 13 % debout, 1 % mange et 3 % boit pour les lots essai, contre 53 % couché, 13 % debout, 1 % mange et 3 % boit pour les lots témoins).

Les poids moyens vifs mesurés à l'abattage sont relativement proches même si les animaux des lots expérimentaux ont tendance à être moins lourds que les animaux témoins probablement du fait des pannes de distribution d'aliment.

Les poids de gésiers des lots essais sont significativement supérieurs à ceux des lots témoin (près de + 10 % en moyenne). Cette conséquence déjà observée dans la littérature chez le poulet (Noirot et al., 1999, Barrier-Guillot et al., 1997), peut présenter s'il est confirmée un intérêt non négligeable pour les abattoirs qui valorisent substantiellement ce produit.

Les comparaisons entre lots des autres critères (taux de mortalité, de saisies et de griffures, propreté, mise à jeun) ne font ressortir aucun écart significatif, témoignant notamment que la qualité des carcasses ne semble donc pas influencée par l'incorporation de céréales.

Les rendements en carcasse et filets ne présentent pas de différences significatives entre lots. Toutefois les rendements des mâles semblent avoir été quelque peu impactés par les problèmes de retard de croissance en élevage occasionnés par les pannes de machine.

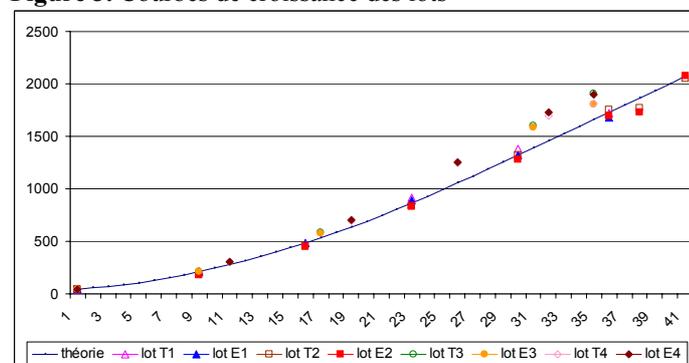
Tableau 1. Résultats techniques moyens (essai 1)

		moenne	écart type	probabilité
Age moyen (j) des lots sur les 3 bandes	♀	73,0	0,6	NS
	♂	85,3	1,0	NS
Consommation d'aliment (kg/animal)	T	10,93	0,21	NS
	E	10,61	0,04	
Consommation d'eau (L/j/animal payé)	T	0,53	0,02	NS
	E	0,52	0,06	
IC technique	T	2,83	0,03	NS
	E	2,77	0,08	
Poids Vifs abattoir (kg) ♀	T	2,54	0,06	NS
	E	2,50	0,11	
Poids Vifs abattoir (kg) ♂	T	4,57	0,03	NS
	E	4,54	0,11	
Poids gésiers (% Poids Vif) ♀	T	1,62	0,17	< 0,01
	E	1,66	0,13	
Poids gésiers (% Poids Vif) ♂	T	1,40	0,01	< 0,01
	E	1,56	0,16	
Rendements carcasse (%) ♀	T	66,02	1,37	NS
	E	64,81	0,13	
Rendements carcasse (%) ♂	T	68,25	0,55	NS
	E	67,82	0,47	
Rendements filet (%) ♀	T	16,32	0,76	NS
	E	15,97	0,30	
Rendements filet (%) ♂	T	16,75	0,58	NS
	E	16,29	0,17	

2.2. Résultats techniques de l'essai 2

Comme l'illustre la figure 3, les croissances des lots témoin et expérimentaux sont similaires (pas d'écart entre lots d'une même bande) et sont équivalentes (bande 2) voire supérieures à la courbe théorique (bandes 1, 3 et 4).

Figure 3. Courbes de croissance des lots



Le suivi comportemental des animaux des 4 bandes réalisé sur l'ensemble de la période d'élevage n'a fait ressortir aucun écart significatif entre lots (17 % couché, 3 % debout, 2 % mange et 1 % boit pour les lots expérimentaux, contre 18 % couché, 2 % debout, 2 % mange et 1 % boit pour les lots témoins).

Comme indiqué dans le tableau 3, les animaux ont été abattus en moyenne à 36,5 jours sur l'ensemble des bandes. Au sein d'une même bande, les poids moyens vifs à l'abattage des lots sont très proches. La consommation d'aliment est légèrement supérieure pour les lots expérimentaux, entraînant une tendance à la dégradation de l'IC. De brefs épisodes de gaspillage du mélange complémentaire-

blé ont été observés, ce qui peut expliquer l'écart de consommation. A noter également que l'homogénéité du mélange varie entre le début et la fin de la chaîne alimentaire notamment à partir de 40 % de blé entier, d'où la décision de passer à 30 % en retrait pour les bandes 2, 3 et 4 (cf. **tableau 2**). Les contrôles physico-chimiques des aliments essais et témoins sont conformes aux présentations et aux formulations attendues.

Tableau 2. Hétérogénéité du mélange (bande 1)

Phase d'alimentation	Taux d'incorporation		
	Théoriques	Réels	
		Début de chaîne	Fin de chaîne
Démarrage	10 %	10,0 %	11,0 %
Croissance	20 %	23,5 %	22,7 %
Finition	30 %	Pas de référence	
Retrait	40 %	33,8 %	46,7 %

Aucun écart significatif entre lots n'est mis en évidence pour les autres paramètres techniques (consommation d'eau, taux de mortalité, GMQ, rendements carcasse, taux de saisies). Comme pour l'essai effectué en canards, les poids de gésiers des lots essais sont significativement supérieurs à ceux des lots témoin (+ 35 %). Le blé entier semble donc solliciter le rôle broyeur des gésiers, et les développer. Cette observation confirme les résultats de Noirot (1999) qui a constaté que les poids moyens des gésiers sont significativement plus élevés de 40 % chez les poulets ayant reçu du blé entier (p=0.001).

Tableau 3. Résultats techniques moyens (essai 2)

		moyenne	écart type	probabilité
Age (j) moyen lots (4 bandes)		36,5	2,3	NS
Consommation d'aliment (kg/animal payé)	T	3,13	0,16	NS
	E	3,14	0,22	
Consommation d'eau (L/animal payé)	T	5,72	0,28	NS
	E	5,55	0,59	
IC	T	1,68	0,07	NS
	E	1,70	0,02	
% mortalité (%)	T	3,44	0,90	NS
	E	2,98	0,46	
Poids vif abattoir (kg)	T	1,86	0,10	NS
	E	1,85	0,12	
GMQ (g/j)	T	51,10	2,59	NS
	E	50,80	2,89	
Rendement carcasse (%)	T	69,60	0,26	NS
	E	69,70	0,93	
Taux de saisies (%)	T	0,17	0,06	NS
	E	0,14	0,07	
Poids gésiers (% Poids Vif)	T	0,70	0,09	< 0,01
	E	1,08	0,10	

Equipements spécifiques et temps de travaux :

Les équipements utilisés pour l'étude effectuée en élevage de poulets étaient assez bien adaptés et peu coûteux (moins de 10 000 €/bâtiment pour le stockage et l'incorporation), et le temps quotidien passé par l'éleveur relativement limité (en moyenne 15 min/j de surveillance). Le système utilisé en canard est plus astreignant du fait des contraintes liées au maïs humide inerté et à l'utilisation de sacs pour le stockage (manutention), et plus onéreux du

fait de l'utilisation d'une machine à broyer et à incorporer, encore à l'état de prototype.

CONCLUSION

Ces essais en élevages de canards et poulets de chair en filière longue, montrent qu'il est possible d'incorporer des céréales en mélange à un aliment complémentaire sans dégradation des performances techniques et sans impact sur le comportement alimentaire, sinon le tri lorsqu'il y a démixage. Le suivi en élevage et à l'abattage n'a en effet révélé aucune différence significative entre les lots témoin et essai, excepté les poids des gésiers des animaux ayant consommé le mélange aliment-céréales qui ont été significativement augmenté de 10 % en canards et 35 % en poulet.

Il en résulte qu'à marge aliments (complet et complémentaire) et prix de reprise des animaux équivalents entre les deux modèles alimentaires, les marges Poussin-Aliment des éleveurs sont légèrement améliorées avec l'incorporation de céréales. Toutefois, l'approche économique doit être plus globale à l'échelle de la filière et tenir compte des spécificités d'élevage (investissement matériel de récolte, de stockage et de distribution ; temps de travail...), des conséquences économiques pour les acteurs de la filière (charges fixes aliment supérieures par tonne fabriquée notamment et donc marge aliment différente) et du marché des matières premières (contexte et perspectives) au moment de la prise de décision. Il serait également intéressant d'étudier les possibilités de valorisation (économie et image) de la volaille alimentée en partie avec du grain de la ferme auprès du consommateur et du citoyen. De nouveaux essais doivent ainsi être réalisés pour valider ces observations et approfondir l'étude économique. Il s'agira au final de mettre au point un outil économique d'aide à la décision mais également un guide technique cadre pour les éleveurs, comprenant notamment des recommandations sur la conduite technique et sanitaire à adopter et la traçabilité.

Remerciements aux éleveurs (Claude Martin et Joseph Fortin), organisations de production (Peigné, CIAB et Arrivé Nutrition Animale) ayant collaboré à ces travaux, et à la Région des Pays de la Loire pour son financement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Barrier-Guillot B., Métayer J.P., Bouvarel I., Castaing J., Picard M., Zwick J.L., 1997. 2èmes JRA, 8-10 avril 1997, 37-40.
- Castaing J., Larroude P., Bouvarel I., Barrier-Guillot B., Picard M., Zwick J.L., 1999. 3èmes JRA, 23-25 mars 1999, Saint Malo, 97-100.
- Noirot V., Bouvarel I., Azam P., Roffidal L., Barrier-Guillot B., Castaing J., Picard M., 1999. 3èmes JRA, 23-25 mars 1999, 117-120.
- Picard M., Faure J.M., 1997. 2èmes JRA, 8-10 avril 1997, 213-216.

EFFET DES MANNAN-OLIGOSACCHARIDES (MOS) SUR LES PERFORMANCES ET LA QUALITE DE CARCASSE DES POULETS LABEL JAUNES

Géliot Patrick ¹, Clavé Hubert ², Spring Peter ³

¹Alltech France, 25 Allée des Sapins, Carquefou, France

²Sation de recherche Nutricia, groupe Maisadour, France

³Haute Ecole Suisse d'Agronomie, Zollikofen, Suisse

RÉSUMÉ

L'objectif de l'essai était d'évaluer l'effet des MOS (Bio-Mos, Alltech Inc.) sur les performances et la qualité de carcasse des poulets Label jaunes. 1128 poulets mâles (souche T44Ni x SA 51) ont été répartis dans 12 cases de 94 poulets chacune. L'essai comportait trois traitements : 1-Témoin négatif (aliment neutre sans anticoccidien), 2- Témoin positif avec anticoccidien, 3- Test : Anticoccidien plus MOS (Bio-Mos, Alltech Inc.) 2 kg/t en démarrage (1-28j), 1kg/t en croissance (29-52j) et 0.5 kg/t en finition (53-70j) et retrait (71-84j).

A partir de 42 jours, les poulets ont eu accès au parcours. Les croissances journalières, les consommations et les indices de consommation ont été déterminés pour chaque phase, ainsi que la qualité de la litière à 42 et 49 jours. 120 animaux ont été prélevés en 2 fois, 60 poulets à 49 j. (5 par case) et 60 poulets la veille de l'enlèvement (5 par case), pour déterminer les scores lésionnels (entérite nécrotique et indice de REID et JOHNSON). A l'abattage des animaux, le poids moyen de carcasse, ainsi que le nombre d'ampoules de bréchet ont été relevés sur les 3 lots. A l'issue de 3 heures de ressuyage, la notation de la coloration des carcasses a été effectuée à l'aide d'un colorimètre (MINOLTA). Les données ont été analysées par ANOVA (logiciel Minitab- Test de Tukey).

Les animaux élevés au cours de cet essai se sont globalement bien comportés en terme de résultats avec un poids final moyen de 2615 g et un indice de consommation de 2.94. Croissance, indice de consommation et mortalité ont été similaires pour les trois traitements. Un bon état sanitaire des différents lots a été confirmé par des scores lésionnels entérite nécrotique et coccidiose faibles voire négatifs. La coloration des carcasses (valeur b= note jaune) est supérieure de un point sur le lot MOS, ce qui est intéressant d'un point de vue industriel bien que non significatif dans cet essai.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate effects of MOS (Bio-Mos, Alltech Inc.) on performances and carcass quality of yellow Label Rouge broilers. 1128 males (T44Ni x SA 51) in 12 pens of 94 broilers each were bred. 3 treatments were tested: 1-Negative control (no coccidiostat), 2- Positive control : Coccidiostat, 3- Test: Coccidiostat+ MOS (Bio-Mos, Alltech Inc.) 2 kg/t during the starter period (1-28 d), 1kg/t during the grower (29-52 d) and 0.5 kg/t during finisher (53-70 d) and withdrawal (71-84 d).

At 42 days, broilers were allowed to get out as is usually practice. Daily growth, feed intake and FCR were recorded for each phase, as well as litter quality at 42 and 49 days. 120 birds were slaughtered in 2 times to record the lesion scores (necrotic enteritis, REID et JOHNSON index) at 49 days and the day before slaughter. At slaughter, average carcass weight and blisters were monitored by pen. At the end of the 3 hours drip loss period, the carcass color was measured (b value) with a colorimeter (MINOLTA). Data were analyzed by ANOVA 5 Minitab software- Tukey test).

The general behavior was good with an ADWG of 2615 g and a FCR of 2.94. Growth rate, FCR and mortality were similar between the 3 treatments. The carcass color (b value= yellow score) is better of 1 point in the MOS treatment, which is relevant for industrial purposes (not significant in this trial).

INTRODUCTION

Développés depuis plusieurs années, les MOS sont principalement utilisés avec succès en production de volailles de chair comme alternative aux facteurs de croissance. La bibliographie présente des travaux sur l'amélioration des performances et sur l'amélioration de la santé intestinale, mais aussi une litière de meilleure qualité et une baisse de la mortalité (Hooge et al., 2004).

Il semble alors intéressant de vérifier ses effets sur des productions de volailles sous signes officiels de qualité tel que le Label Rouge. L'objectif de l'essai était d'évaluer l'effet des MOS (Bio-Mos, Alltech Inc.) sur les performances et la qualité de carcasse des poulets Label Jaunes en station expérimentale.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Animaux

1128 poulets mâles (souche T44Ni x SA 51) ont été répartis dans 12 cases de 94 poulets chacune. L'essai comportait trois traitements:

1. Témoin négatif: aliment sans anticoccidien
2. Témoin positif: anticoccidiens Nicarbazine et Narasin en démarrage (40 ppm de chaque), Salinomycine (60 ppm) jusqu'à 70 j.
3. Test: Anticoccidien plus MOS: Nicarbazine et Narasin en démarrage (40 ppm de chaque), Salinomycine (60 ppm) jusqu'à 70 j; MOS (Bio-Mos, Alltech Inc.) 2 kg/t en démarrage, 1kg/t en croissance et 0.5 kg/t en finition et retrait.

1.2. Programme Nutritionnel

Le programme nutritionnel comprenait 4 phases (à l'identique du poulet Label «jaune liberté»): Démarrage 1 à 28 j.- Croissance 29 à 52 j.- Finition 53 à 70 j.- Retrait 71 j. à abattage. A partir de 42 jours, les poulets ont eu accès au parcours.

1.3. Paramètres mesurés

Les croissances journalières, effectuées par pesée individuelle des animaux à l'issue de chaque phase du plan d'alimentation, les consommations et les indices de consommation ont été déterminés pour chaque phase.

La qualité de la litière a été notée à 42 et 49 jours, par notation visuelle sur une échelle de 1 à 10 (1=excellent, 10=mauvais). 120 animaux ont été prélevés en 2 fois pour détermination des scores lésionnels (entérite nécrotique et indice de REID et JOHNSON) à 49 jours et la veille de l'abattage. A l'abattage des animaux, le poids moyen de carcasse, ainsi que le nombre d'ampoules de bréchet ont été

relevés pour les trois traitements lot. A l'issue du ressuage, la notation de la coloration (valeur b) des carcasses a été effectuée à l'aide d'un colorimètre (MINOLTA). Une mesure individuelle a été réalisée sur le triangle de masse grasse située à l'avant du filet. Les données ont été ensuite analysées par ANOVA (logiciel Minitab- Test de Tukey). La valeur L correspond à la Luminance, la valeur a correspond à la note rouge et la valeur b à la note jaune.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Les animaux élevés au cours de cet essai se sont globalement bien comportés en terme de résultats avec un poids final moyen de 2615 g et un indice de consommation de 2.94. Croissance, indice de consommation et mortalité ont été similaires pour les trois traitements (Tableau 1). Un bon état sanitaire des différents lots a été confirmé par des scores lésionnels entérite nécrotique et coccidiose faibles voire négatifs (Figure 1).

La valeur b de la coloration des carcasses est supérieure de un point sur le lot MOS (effet non significatif), (Figure 2).

Les conditions expérimentales d'essai n'ont pas permis de dégager des résultats significatifs. Cependant, dans des conditions de terrain, avec des scores lésionnels d'entérites nécrotiques et des indices de coccidioses plus marqués, l'effet sur la santé intestinale serait peut-être plus marqué avec une répercussion plus forte sur la coloration des carcasses. Par ailleurs, des essais conduits en poudeuses, œufs de consommation, ont montré une amélioration de la coloration du jaune d'œufs: 11.4 à 12.1 sur l'échelle de Roche. (Gracia et al., 2004). Il serait également intéressant de vérifier l'effet de la dose sur les paramètres mesurés.

CONCLUSION

L'objectif de l'étude était de confirmer l'intérêt de l'utilisation des MOS (Bio-Mos, Alltech Inc) en production de volailles sous signes officiels de qualité poulets Label Rouge. Les résultats obtenus au cours de l'étude donnent des indications favorables notamment sur des critères de santé intestinale, digestibilité des pigments et coloration des carcasses.

Cette étude complète les précédentes recherches réalisées auparavant sur les MOS (Bio-Mos, Alltech Inc) sur l'amélioration des paramètres de santé intestinale tels que les travaux réalisés par

Peter Ferket, de l'Université de Caroline du Nord, démontrant l'effet des MOS (Bio-Mos, Alltech Inc) sur la stimulation de la production de mucus et sur l'activité des enzymes digestives.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Gracia MI, Cachaldora P, Tucker L, Peinado J, Medel P, 2004. *Poultry Science* **83**, (Suppl.1), 397

Hooge D, 2004. *International Journal of Poultry Science* **3**, 163-174.

Tableau 1. Performances des animaux

Paramètres	Témoin négatif	Témoin positif	BIO-MOS	Valeur de p
Poids à 28 j (g)	542 a	528 b	526 b	<0.001
Poids à 52 j (g)	1389 a	1371 ab	1363 b	0,0018
Poids à 70 j (g)	2135 a	2103 ab	2074 b	<0.001
Poids à 84 j (g)	2619 a	2623 a	2601 a	NS
IC 1 à 28 j	1.726 a	1.752 a	1.758 a	NS
IC 1 à 52 j	2.224 a	2.219 a	2.237 a	NS
IC 1 à 70 j	2.647 a	2.648 a	2.667 a	NS
IC 1 à 84 j	2.956 a	2.929 a	2.934 a	NS
Coloration note b	32.85 a	33.03 a	34.1 a	NS

Figure 1. Score Entérique et Indice de Reid et Johnson des différents traitements

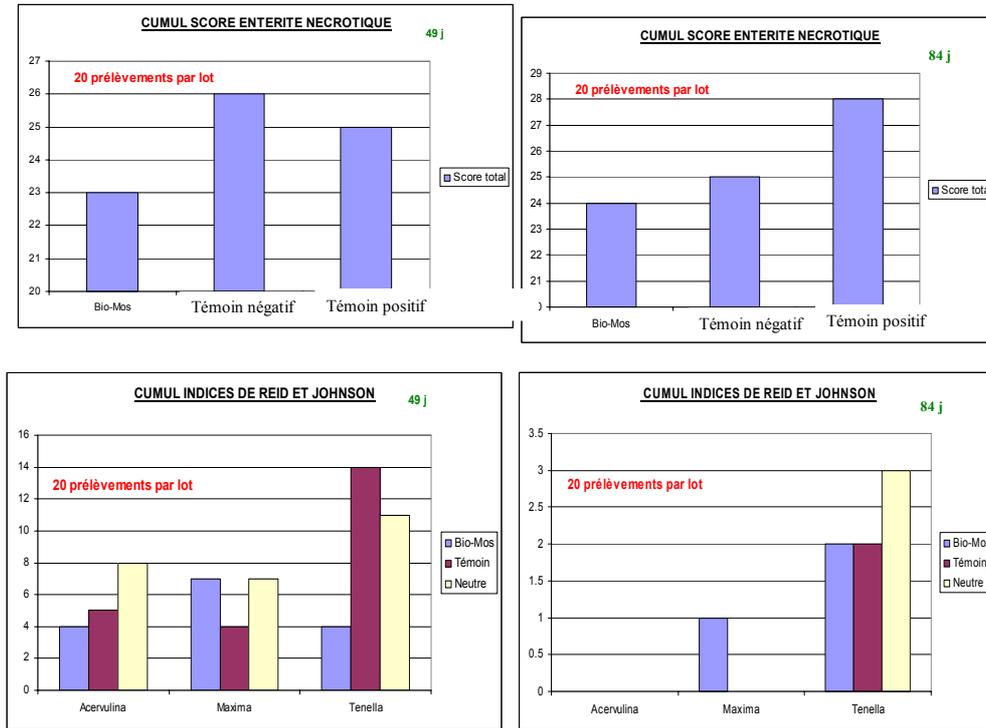
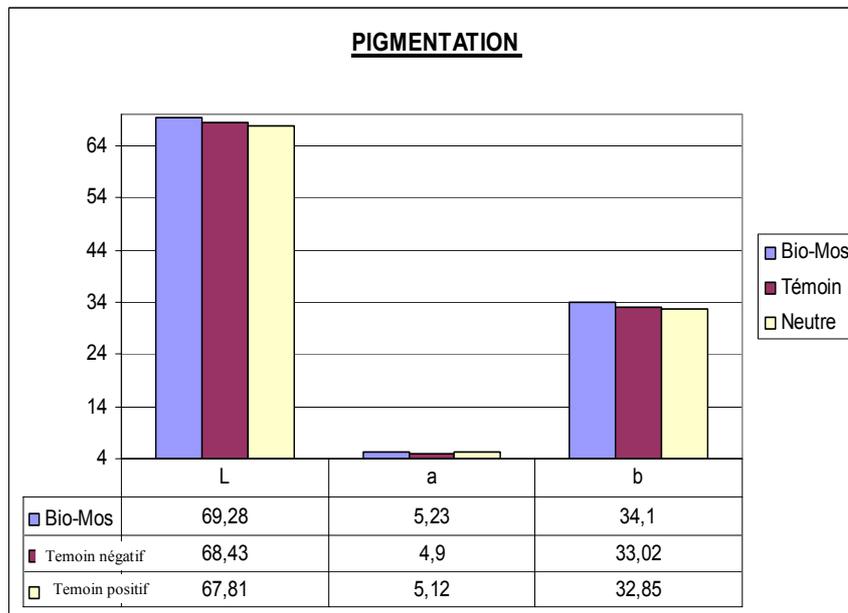


Figure 2. Effet sur la coloration des carcasses des différents traitements



EFFETS DES CONDITIONS D'AMBIANCE ET DE L'APPORT D'ADDITIFS DE TYPE PREBIOTIQUES SUR LES PERFORMANCES DE CROISSANCE ET L'ETAT SANITAIRE DE DINDONS MALES

Postollec Gilbert, Maurice Robert, Huonnic Didier, Boilletot Eric, Michel Virginie, Burel Christine.

AFSSA Zoopole Beaucemaine, BP 53, 22440 Ploufragan

RÉSUMÉ

L'étude avait pour but d'évaluer les effets de prébiotiques utilisés dans des conditions d'élevage différentes, sur les performances de croissance et l'état sanitaire de dindons mâles. Trois prébiotiques, un fructo-oligosaccharide à chaîne courte (Fc), un fructo-oligosaccharide à chaîne longue (Fl) et un manan-oligosaccharide (M) ont été testés, en conditions d'élevage favorables (préchauffage et bonne qualité de litière; salle E(+)), et en conditions moins favorables (préchauffage réduit et rechargements en litières limités; salle E(-)). Dans chacune des salles d'un même bâtiment d'élevage, 3300 dindons mâles ont été répartis en 24 parquets (2 blocs de 12 parquets de part et d'autre d'un couloir central) de 17,4 m² chacun, à une densité initiale de 8 dindons au m² et une densité finale de 4,5 dindons au m² (détassage à 74 jours). Les 4 traitements (aliment témoin et 3 aliments avec additif) alimentaires ont été répartis de façon aléatoire dans chaque bloc. Les performances de croissance ont été mesurées par des pesées individuelles d'un échantillon de 30 dindons par parquet. La consommation et l'efficacité alimentaire ont été calculées à partir des consommations par parquet. L'étude sur les pododermatites a été réalisée à partir d'observations individuelles sur un échantillon de 20 dindons par parquets à J 73 et J 113. L'effet positif de l'apport de prébiotiques dans l'aliment n'est significatif que pendant les périodes de démarrage et de croissance (0 à 57 jours). Sur cette période, il est plus marqué en conditions moins favorables et se traduit essentiellement par un poids plus élevé en fin de période, en relation avec une plus forte consommation d'aliment. Sur la totalité de la période d'élevage, il n'y a plus d'effet « additif » et seules les conditions d'élevage influencent les performances de croissance, significativement supérieures en conditions favorables. Dans cette étude, les lésions de pododermatites sont présentes même sur les litières en bon état. Elles sont cependant beaucoup moins graves (érosion ou hyperkératose) en conditions favorables qu'en conditions défavorables (ulcères). L'aggravation est surtout marquée en fin d'élevage sur les litières en moins bon état.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effects of prebiotics, used under different rearing conditions, on performances and health status of turkeys. Three prebiotics, a short-chain fructo-oligosaccharide (Fc), a long-chain fructo-oligosaccharide (Fl) and a mannan oligosaccharide (M), have been tested under favourable rearing condition (pre-heating of the building during 3 days and a high litter quality; Room E(+)), and under less favourable conditions (reduced pre-heating, lower litter quality, Room E(-)). In each room, 3300 turkeys have been randomly allotted in 24 pens (2 units of 12 pens separated by a central corridor) of 17.4 m² each, at an initial density of 8 turkeys/m² and a final density of 4.5 turkeys/m² (removal at 74 days). The 4 dietary treatments (1 control diet and 3 "prebiotic" diets) have been randomly assigned in both two rooms. Growth performances have been regularly estimated by the individual weighing of 30 turkeys per pen. Feed intake and feed efficiency have been calculated by measuring the feed consumption of each pen. The study of the pododermatitis has been performed by the observation of the legs of 20 turkeys per pen at day 73 and 113. The beneficial effect of the prebiotics was significant only during the first periods of life (starting and growing periods: 0-57 days). During this period, this effect was more marked under the less favourable rearing conditions and was mainly indicated by a higher body weight related to a higher feed intake. When the whole rearing period was taken into account (0-113 days), there were not any more significant effects of the prebiotics, while the effects of the rearing conditions were still clear: turkey's growth performance were higher under the favourable rearing conditions. In this study, pododermatitis injuries were found even on turkeys reared with a high litter quality. Their seriousness was nevertheless lower under favourable rearing conditions (erosion or hyperkeratosis) compared to the less favourable conditions (ulcers). This aggravation under the less favourable rearing condition was particularly evident at the end of the rearing period.

INTRODUCTION

Les Antibiotiques Facteurs de Croissance (AFCs) utilisés dans l'alimentation animale ont contribué de façon importante à l'amélioration de l'état sanitaire et des performances zootechniques des animaux de rente. Avec leur interdiction plusieurs types de produits alternatifs ont été mis sur le marché avec tous les mêmes objectifs, à savoir maintenir un bon niveau sanitaire et permettre des performances de croissance si possible équivalentes à celles permises avec les AFCs.

Parmi les différents produits de substitution proposés (acidifiants, enzymes, probiotiques, prébiotiques, huiles essentielles, argiles, oligo-éléments), les prébiotiques occupent une place importante.

La formulation du concept prébiotique date de 1995 (Gibson et Roberfroid). Le terme définit des ingrédients alimentaires non digestibles qui ont une action bénéfique en stimulant sélectivement dans le colon la croissance et/ou l'activité d'un nombre limité de bactéries capables d'améliorer la santé de l'hôte.

Les prébiotiques sont utilisés en alimentation humaine autant qu'en alimentation animale. Les prébiotiques augmenteraient la résistance de l'organisme aux infections gastro-intestinales. Plusieurs mécanismes interviendraient, notamment via l'abaissement du pH dans la lumière intestinale de manière à inhiber la croissance des microbes pathogènes et à favoriser au contraire la flore bénéfique (lactobacilles et bifidobactéries) (Xu et al., 2005). D'autres voies de recherche suggèrent un rôle immunomodulateur (Newman, 1994 ; Spring et al., 2000) direct ou indirect, un effet favorable sur l'activité enzymatique, une compétition pour les nutriments ou encore le blocage des sites d'adhésion de certains germes pathogènes dans l'intestin. Une des extrapolations du concept prébiotique est d'empêcher la fixation de pathogènes tel que *Escherichia coli*, les salmonelles ou les campylobacters sur leur récepteur intestinal. (Bailey et al., 1991 ; Chambers et al., 1997 ; Futaka et al., 1999).

Les prébiotiques auraient également un rôle favorable dans le rétablissement de la flore digestive après traitement antibiotique.

Des études ayant déjà montré que les AFCs étaient d'autant plus efficaces que les conditions environnementales étaient plus détériorées (Prescott et Baggot, 1993), plusieurs auteurs ont alors suggéré que l'apport d'additif serait d'autant plus intéressant que les conditions d'élevage seraient moins favorables ou que les animaux seraient stressés (Bailey et al., 1991 ; Patterson et Burkholder, 2003).

L'objectif de notre étude était donc d'évaluer les effets de 3 types de prébiotiques dans deux

conditions d'élevage différentes sur les performances de croissance de dindons mâles.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Schéma expérimental

Trois aliments supplémentés en prébiotiques ont été comparés chez le dindon, à un aliment témoin (6 répétitions par traitement alimentaire) dans deux conditions d'élevage différentes (favorables vs moins favorables), selon un plan factoriel 4x2. L'essai a duré 113 jours (mise en place des animaux le 04 octobre 2005, départ à l'abattoir le 26 janvier 2006).

1.2. Animaux et densités

Pour cette étude, 6600 dindonneaux mâles ont été répartis à raison de 138 sujets par parquet (2 salles de 24 parquets) à une densité de 8 dindons au m² au départ. Compte tenu des retraits d'animaux pour analyse (5 dindons à chaque transition alimentaire) et d'un détassage à 74 jours, la densité en phase de finition (période 78-113 jours) était de 4,5 dindons/m².

1.3. Prébiotiques et alimentation

Les additifs ont été ajoutés à un aliment de formule standard terrain. Quatre aliments ont été testés: un aliment témoin sans additif (T), un aliment avec comme additif un fructo-oligosaccharide à chaîne courte à la dose de 600 g/tonne (Fc), un aliment avec comme additif un fructo-oligosaccharide à chaîne longue à la dose de 1 kg/tonne (Fl), et un aliment avec comme additif un mananoligosaccharide à la dose de 1 kg/tonne. Les aliments n'ont pas été supplémentés en enzyme et avaient de ce fait des taux maximaux en blé et minimaux en maïs.

Un anticoccidien non ionophore (**dielazuril**), (**CLINACOX®**) a été incorporé à la dose de 200 g/tonne dans les aliments démarrage et croissance 1 et 2, c'est-à-dire jusqu'à J56.

La distribution des aliments s'est faite manuellement et *ad libitum* selon 5 séquences alimentaires : Dinde Démarrage, de 0 à 22 jours (miettes), Dinde Croissance 1, de 23 à 36 jours, (granulés vermicelle ; 2,5 mm), Dinde Croissance 2, de 37 à 57 jours (granulés ; 3,5 mm), Dinde Finition 1, de 58 à 78 jours, (granulés ; 3,5 mm), Dinde Finition 2, de 79 à 113 jours (fin de l'élevage) (granulés ; 3,5 mm).

1.4. Bâtiment, conditions d'élevage

Le bâtiment d'élevage était constitué de deux salles séparées par un sas central et chaque salle contenait

2 blocs, séparés par un couloir central, de 12 parquets de 17,4 m² (2,95 m x 5,90 m) chacun. Les conditions d'élevage dans chacune des salles différaient sur deux points : la mise en ambiance et la litière. Dans la salle E(+), le préchauffage a été mis en place pendant 3 jours et la température de consigne a été portée à 33°C la veille de la mise en place des animaux. En cours d'élevage quinze rechargements en litière (14 kg par rechargement) ont été effectués. Dans la salle E(-), le préchauffage n'a duré que 2 jours et la température de consigne était de 29°C la veille de l'arrivée des animaux, par la suite seulement huit rechargements en litière (14 Kg à chaque fois) ont été effectués en cours d'élevage. Le chargement en litière était d'environ 5 kg au m² à la mise en place des animaux. En fonction des divers rechargements la quantité totale de copeaux a atteint 17,0 kg/m² en salle E (+) et 11,4 kg/m² en salle E (-). Le bâtiment était équipé d'un système de chauffage au gaz aérotherme, la ventilation était de type dynamique avec extraction haute. Le sol était en béton plein et la litière en copeaux de bois. Le dispositif d'alimentation était constitué de cylindres de 15 kg avec assiettes type poulet au démarrage puis cylindres dindes avec assiettes adaptées par la suite. Les animaux étaient abreuvés au moyen d'abreuvoirs syphoïdes de type "plasson" au départ, puis abreuvoirs syphoïdes type dindons à partir de 4 semaines. Le programme lumineux était fractionné au départ (alternance de 3 heures de lumière et de 3 heures de nuit de J0 à J70) puis fixe ensuite avec 16 heures de lumière et 8 heures de nuit. A l'exception de la période de mise en place des animaux (préchauffage réduit dans la salle E (-)), le programme de température était le même dans les deux salles avec une programmation de 33°C au départ, décroissant jusqu'à 16°C en phase finition.

1.4. Mesures effectuées

Les performances de croissance ont été mesurées par la pesée individuelle d'un échantillon aléatoire de 30 dindons par parquet à la fin de chaque séquence alimentaire. La consommation et l'efficacité alimentaire ont été estimées à partir des consommations par parquet et par phase alimentaire. La consommation d'eau a été mesurée par jour et par bloc.

L'enregistrement des mortalités, des euthanasies et des retraits éventuels (maladie-picage) a été réalisé quotidiennement.

Un examen des pattes (lésions de pododermatites) a été réalisé sur un échantillon aléatoire de 20 dindons par parquet à J73 et J113. La grille de notation prenait en compte, à la fois l'importance de la lésion (surface) et la gravité (érosion, kératose, ulcère).

1.5. Analyses statistiques

Le traitement statistique des données recueillies a été réalisé à l'aide des logiciels Excel et Systat. L'unité statistique retenue a été le parquet (n =6 pour le gain de masse quotidien (GMQ) et l'indice de consommation (IC), ou l'individu (n =180 pour le poids vif; n =120 pour les lésions de pododermatites).

Les effets des deux facteurs aliment-conditions d'élevages sur les paramètres zootechniques et sanitaires ont été testés par une analyse de variance (ANOVA) à deux facteurs quand c'était possible (distribution normale des variables et homogénéité des variances), ou par le test non paramétrique de Kruskal-Wallis (distribution non normale absence d'homogénéité).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Les principaux résultats zootechniques sont regroupés dans le Tableau 1. Les animaux élevés dans les conditions les plus favorables sont significativement plus lourds à tous les stades physiologiques comparés aux animaux élevés en conditions moins favorables, quel que soit le traitement alimentaire. L'écart (Figure 1) augmente régulièrement avec l'âge, de +3,5 % en début d'élevage jusqu'à +7% en fin d'élevage.

Les animaux recevant un aliment avec prébiotique sont significativement plus lourds jusqu'à 57 jours d'âge (période démarrage puis période croissance) comparé aux animaux témoins, dans les deux conditions d'élevage. Les meilleures performances de croissance avant 57 jours chez les dindons recevant un aliment avec additif sont en lien avec une plus forte consommation d'aliment durant cette période. Si l'on se réfère à l'écart de poids par rapport au témoin, l'effet prébiotique semble plus important en conditions moins favorables, mais cette différence est surtout liée au plus faible poids des dindons témoins élevés dans ces conditions.

L'effet sur le GMQ et son évolution sont sensiblement les mêmes que celui sur le poids vif. L'indice de consommation est meilleur en conditions d'élevage moins favorables jusqu'à l'âge de 57 jours (période démarrage et croissance I) il est en revanche moins bon dans ces conditions sur la période 57 à 113 jours (les deux stades finition). Sur la totalité de la période d'élevage il est significativement meilleur en conditions plus favorables. L'effet des additifs sur l'indice de consommation n'est significatif que pendant les stades finition 1 en élevage E(-) et les stades croissance 2 en élevage E(+). Sur ces deux périodes l'IC est moins bon pour les aliments avec additifs. Sur les autres périodes d'élevage il n'y a jamais d'effet significatif.

D'une manière plus générale, et sur la totalité de la période d'élevage, les seuls effets significatifs, dans cet essai, sur les performances zootechniques sont liés aux conditions d'élevage. L'influence de l'apport de prébiotiques sur les performances de croissance est limitée en conditions favorables et ne permet pas de compenser des conditions moins favorables. Il n'est pas non plus exclu que le taux d'incorporation soit à prendre en considération. Les taux d'incorporation des additifs était de l'ordre de 0,1% dans cet essai, des effets positifs avec des taux d'incorporation de 1 ou 2% soit dix ou vingt fois supérieurs sont signalés (Xu et al., 2003 ; Zdunczyk et al., 2004, 2005). Il se peut aussi comme le suggère Zdunczyk et al. (2005), que l'addition d'un prébiotique seul ne soit pas suffisante et qu'il faudrait y ajouter d'autres facteurs ou agents précurseurs de flore lactique. L'incidence économique de doses plus élevées ou de l'apport de précurseurs serait alors à prendre en considération.

Les lésions de pododermatites ont été retrouvés dans les deux conditions d'élevage, mais le pourcentage d'animaux avec des lésions graves et étendues (ulcères ou nécrose) est significativement moins élevé (5,20% vs 6,76% à 111 jours) en condition favorable. Les lésions les plus graves et les plus importantes se retrouvent surtout sur la litière en moins bon état et c'est également dans ces conditions que les lésions ont le plus tendance à s'aggraver pendant la dernière phase d'élevage (Figure 2). Dans notre essai l'apport de prébiotiques, n'a pas eu d'effet visible sur la qualité de la litière, cependant dans les lots d'animaux recevant des aliments avec des fructo-oligosaccharides, le pourcentage de dindons avec des lésions de pododermatites étendues et graves est significativement moins élevé (6,52% et 6,63% vs 6,97%) que chez les animaux recevant l'aliment témoin en conditions d'élevage moins favorables. Ces différences n'apparaissent plus en conditions plus favorables. Ce point semble souligner que d'autres éléments (résistance des animaux, caractéristiques des fientes) que ceux relatifs à la seule qualité visuelle de la litière, sont aussi à prendre en compte dans les problèmes de pododermatites.

Le taux de mortalité global a été de 4,1%. Sur la totalité de la période d'élevage, aucune différence significative n'apparaît sur le taux de mortalité entre les deux salles (4,8 en salle Elevage (-) et 3,4 % en salle Elevage (+)). En revanche le taux de mortalité pendant la deuxième période de finition et après détassage est significativement plus élevé dans la salle Elevage (-) (3,7% vs 1,6%). Aucune pathologie particulière n'explique cette mortalité plus forte mais les autopsies ont cependant mis en évidence des lésions osseuses chez tous les dindons morts en fin d'engraissement (rachitisme, nécrose des têtes fémorales, déformations osseuses).

CONCLUSION

Cette étude a confirmé que les conditions d'élevage et tout particulièrement la qualité de la litière, avaient un impact significatif sur les performances de croissance. Dans cet essai, les effets bénéfiques de l'apport de prébiotiques, aux doses préconisées par les fournisseurs, n'ont été observés que pendant les périodes de démarrage et de croissance, en relation avec une meilleure consommation d'aliment. Ils ne se retrouvent pas sur la totalité de la période d'élevage et leur apport ne permet pas de compenser entièrement des conditions d'élevage moins favorables. Dans cette étude, les lésions de pododermatites sont présentes même sur une litière régulièrement rechargée. Elles sont cependant plus graves en conditions défavorables et peuvent alors atteindre des degrés de gravité pénalisants, en terme de bien-être des animaux mais également en matière de performances économiques. Sur ce point particulier, des effets favorables des fructo-oligosaccharides ont été mis en évidence, mais leur rôle exact et les modalités d'action n'ont pas pu être précisés. Des études complémentaires sont certainement nécessaires pour préciser ce point.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bailey, J.S., Blankenship, L. C., Cox, N.A., 1991. *Poult. Sci.*, 70 : 2433-2438.
- Chambers, J. R., Spencer, J.L., Modler H.W., 1997. *Poult. Sci.*, 76 : 445-451.
- Fukata, T., Sasai, K., Miyamoto, T., Baba, E., 1999. *J. Food Prot.*, 62 : 229-233.
- Gibson, G. R., Roberfroid, M.B., 1995. *J. Nutr.*, 125 : 1401-1412.
- Newman, K.E., 1994. *Proceedings of Alltech's 10th Annual symposium T.P. Lyons and K.A. Jaques, ed. Nottingham University Press, Loughborough, Leics. UK : 167-174.*
- Patterson, J. A., Burkholder, K. M., 2003. *Poult. Sci.*, 82 : 627-631.
- Prescott, J.F., Baggot, J.D., 1993. *Antimicrobial therapy in Veterinary medicine. Iowa State University press : 564-565*
- Spring, P., Wenk, C., Dawson K.A., Newman, K.E., 2000. *Poult. Sci.*, 79 : 205-211.
- Xu, Z. R., Hu, C.H., Xia, M. S., Zhan, X. A., Wang, M. Q., 2003. *Poult. Sci.*, 82 : 1030-1036.
- Zdunczyk, Z., Juskiewicz, J., Jankowski, J., Koncicki A., 2004. *Archiv. Anim. Nutr.*, 58(5) : 367-378.
- Zdunczyk, Z., Juskiewicz, J., Jankowski, J., Biedrzycka, E., Koncicki, A., 2005. *Poult. Sci.*, 84 : 903-909.

Tableau 1. Performances de croissance (n = 180) et efficacité alimentaire (n = 6) de dindons mâles en fonction des conditions d'élevage et de l'apport de prébiotiques dans l'aliment

	Conditions d'élevage		Prébiotiques en élevage (-)				Prébiotiques en élevage (+)			
	E (-)	E(+)	T	Fc	Fl	M	T	Fc	Fl	M
Poids (g) 22 jrs	761,1 ^a	791,2 ^b	732,3 ^a	781,7 ^c	766,5 ^{bc}	763,7 ^b	770,4 ^a	804,8 ^b	794,8 ^b	794,7 ^b
Poids (g) 57 jrs	4175,6 ^a	4368,8 ^b	4079,2 ^a	4221,7 ^b	4158,3 ^{ab}	4243,2 ^b	4343,1 ^{ab}	4428,1 ^b	4403,5 ^b	4300,6 ^a
Poids (g) 113 jrs	12147,4 ^a	13038,7 ^b	12086,8	12198,9	12074,5	12195,5	13172,1	13040,9	13137,8	12804,0
Conso 0-22 jrs	41,8 ^a	44,6 ^b	40,3 ^a	42,2 ^b	42,3 ^b	42,2 ^b	43,3 ^a	44,5 ^b	45,6 ^b	44,7 ^b
Conso 0-57 jrs	117,3 ^a	123,0 ^b	114,1 ^a	117,3 ^{ab}	118,1 ^b	119,6 ^b	120,9	123,7	123,2	124,0
IC 0-113 jrs	2,28 ^b	2,21 ^a	2,28	2,26	2,30	2,27	2,18	2,21	2,23	2,24

a, b : différence significative entre lots à P < 0,05

Figure 1. Evolution du poids moyen (g) de dindons mâles dans des salles présentant des conditions d'élevage plus ou moins favorables

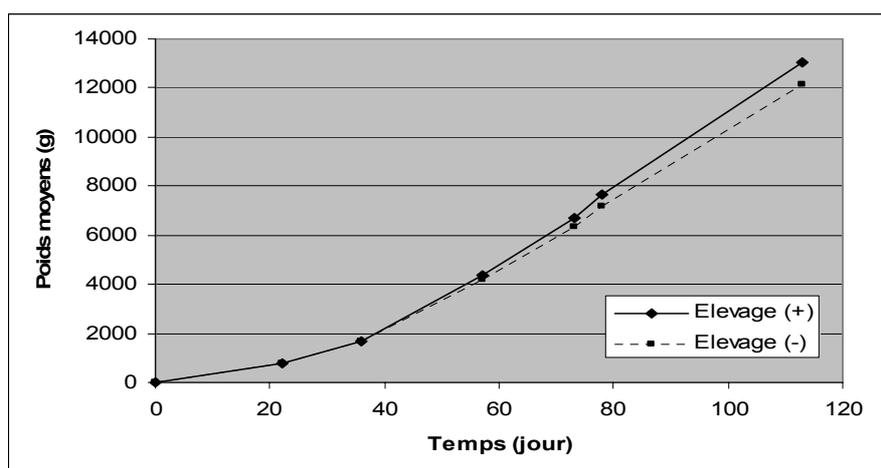
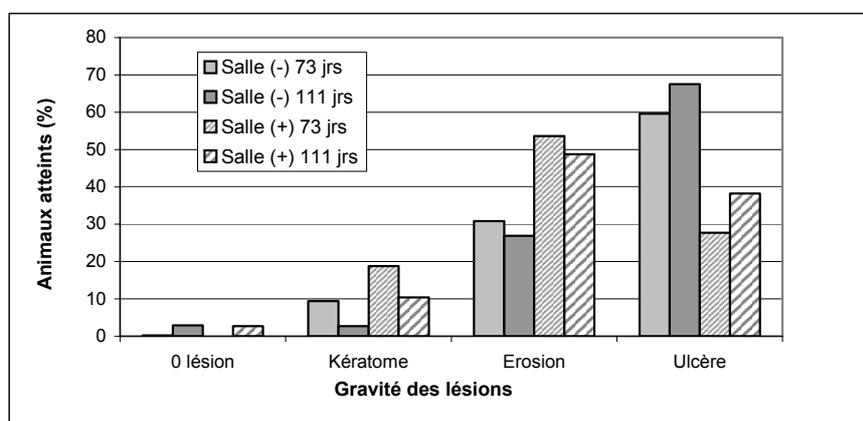


Figure 2. Gravité des lésions de pododermatites de dindons mâles selon l'âge et les conditions d'élevage plus ou moins favorables (n = 120)



UN EXTRAIT DE PLANTES ET UN PREBIOTIQUE SONT AUSSI EFFICACES QUE L'AVILAMYCINE POUR AMELIORER LES PERFORMANCES DU POULET DE CHAIR

Catalá-Gregori Pablo¹, Mallet Serge², Travel Angélique³, Lessire Michel²

¹UNIVERSIDAD DE MURCIA - Departamento de Producción Animal, Facultad de Veterinaria - 30071 MURCIA (ESPAGNE),

²INRA – UR83 Recherches Avicoles - 37380 NOUZILLY,

³ITAVI - UR83 Recherches Avicoles - 37380 NOUZILLY

Ce travail a été réalisé dans le cadre de l'Unité Mixte Technologique BIRD (Biologie et Innovation pour la Recherche et le Développement en aviculture)

RÉSUMÉ

L'objectif de cette expérimentation a été d'évaluer les effets d'un fructooligosaccharide à courte chaîne (scFOS) produit à partir du saccharose (PROFEED®), et d'un extrait végétal (XTRACT™) sur les performances de poulets de chair jusqu'à l'âge de 36 jours. Ont également été étudiés: l'histomorphométrie de l'iléon, les populations de bactéries anaérobies sulfite-réductrices intestinales, le pH du tractus digestif, les acides gras volatils caecaux et la qualité des litières. Cinq aliments expérimentaux ont été testés : scFOS 600 ppm (P); extraits végétaux 100 ppm (X); P/X 600/100 ppm (XPH); P/X 450/75 ppm (XPM); P/X 300/50 ppm (XPB), et comparés à un témoin négatif (C) et à un témoin positif contenant 10 ppm d'avilamycine (AV).

Comparé à l'aliment C, l'avilamycine améliore les performances des poulets à toutes les périodes de l'essai alors que les effets bénéfiques de l'extrait de plantes et du prébiotique utilisés seuls apparaissent à la fin de l'élevage (J22 à J36). A J36, les poulets ayant reçu les aliments AV, P ou X sont plus lourds que ceux ayant reçu l'aliment C. Sur la durée totale de l'élevage, ils ont également un meilleur indice de consommation. Quand les deux additifs sont mélangés, de J1 à J36, les aliments XPM ou XPB améliorent le gain de poids comme l'avilamycine, mais seul l'aliment XPB améliore l'indice de consommation comparé à l'aliment C. Avec le mélange au plus fort dosage (XPH), les performances des poulets ne sont pas améliorées suggérant un effet antagoniste des deux additifs. Aucun effet significatif n'est observé sur le reste des paramètres étudiés quel que soit l'aliment testé.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effects of a short chain fructo-oligosaccharide (scFOS) produced from beet sugar (PROFEED®), and a plant extract (XTRACT™), on broiler performance up to 36d. Ileal histomorphometry, anaerobic sulphite-reducing bacteria count, intestinal and caecal pH, caecal volatile fatty acids production and litter score were also evaluated. Five supplemented diets were tested: scFOS 600 ppm (P); plant extract 100 ppm (X); P/X 600/100 ppm (XPH); P/X 450/75 ppm (XPM); P/X 300/50 ppm (XPB), and compared to a negative control (C) and a positive control: avilamycin 10 ppm (AV).

Compared to C, avilamycin improved broiler performance throughout the experiment while the effects of plant extract and prebiotic employed alone were noticeable during the finisher period (from 22 to 36d). At 36 d of age, broilers fed AV, P or X were heavier than those fed C. Throughout the trial, the same broilers had a better feed conversion ratio (FCR). When the two additives were mixed, from 1 to 36 d of age, XPM or XPB improved the body weight gain as AV did, but only XPB improved FCR compared to C. With the higher mixture dose (XPH), no broiler performance improvement was observed suggesting an antagonistic effect of the two additives. No statistical effect was observed in any treatment for the other parameters measured.

INTRODUCTION

Bien que la possible relation entre des microorganismes résistants sélectionnés par l'emploi d'antibiotiques facteurs de croissance (AFC) chez les volailles et des infections résistantes aux antibiotiques chez les humains ne soit pas prouvée (Dibner and Richards, 2005), l'Union Européenne, par principe de précaution, a interdit l'emploi des antibiotiques comme promoteurs de la croissance depuis le 1^{er} Janvier 2006. Il est donc nécessaire de proposer aux producteurs des alternatives aux AFC dans le but de maintenir la santé animale, la productivité et la sécurité des aliments.

Les extraits de plantes et les prébiotiques qui ont déjà montré leur capacité à modifier le microbiote intestinal (Xu et al., 2003 ; Hernández et al., 2004) pourraient être considérés comme des alternatives potentielles aux AFC. L'activité antimicrobienne de certains extraits végétaux a déjà été notée (Hernández et al., 2004). Des prébiotiques comme les fructo-oligosaccharides (FOS), sont des oligosaccharides non digestibles et non absorbables dont les liaisons β entre les monomères de fructose ne peuvent pas être hydrolysées par les enzymes digestives endogènes des volailles. Les FOS sont disponibles comme substrat pour des bactéries intestinales bénéfiques (*Bifidobacterium*, *Lactobacillus*) et peuvent ainsi contrôler les populations de pathogènes potentiels (*Escherichia coli*, *Salmonella*) par exclusion compétitive (Xu et al., 2003).

Associer ces deux catégories d'additifs de mode d'action différent (des extraits végétaux à propriétés antimicrobiennes et un FOS susceptible de favoriser des bactéries potentiellement bénéfiques pour l'équilibre du microbiote entérique), pourrait représenter une approche intéressante. Cependant, aucune étude disponible sur le poulet de chair ne permet d'évaluer l'effet de l'addition de combinaisons de prébiotiques et d'extraits de plantes dans la ration alimentaire.

L'objectif de cette étude est donc d'évaluer, comme alternative aux AFC, l'effet d'un prébiotique et d'un extrait de plantes, seuls ou en association, sur les performances du poulet de chair ainsi que sur plusieurs paramètres permettant d'apprécier leur effet sur le fonctionnement du tube digestif : histomorphométrie de l'iléon, populations de bactéries anaérobies sulfite-réductrices intestinales (ASR), pH du tractus digestif, acides gras volatils (AGV) caecaux et qualité des litières.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Animaux et élevage

Pour cette étude, 3780 poulets mâles Ross PM3 sont élevés au sol sur litière de copeaux de bois de J1 à J36 dans des conditions standard de température, d'éclairage et d'abreuvement. Les

animaux sont distribués de façon aléatoire (45 poulets/case) dans 84 cases (3x1m) placées dans 2 salles adjacentes (42 cases/salle) d'un même bâtiment expérimental.

1.2. Aliments et additifs

Les poulets reçoivent un aliment composé principalement de maïs, blé et soja dont les caractéristiques (tableau 1) correspondent aux besoins des animaux aux différentes périodes de leur croissance : démarrage (J1-J10), croissance (J11-J21) et finition (J22-J36).

Tableau 1. Caractéristiques calculées moyennes des différents aliments expérimentaux (EM : Energie Métabolisable, MAT : Matières Azotées Totales, AAS : Acides Aminés Soufrés).

	Dém.	Croiss.	Finition
EM (Kcal/kg)	3000	3050	3100
MAT (g/kg)	220	210	200
Lysine (g/kg)	12,5	11,5	11
A.A.S. (g/kg)	9,5	9	8,7

Cinq aliments expérimentaux, en granulés de 2,5mm offerts *ad libitum*, ont été testés : FOS 600 ppm (P); extrait végétal 100 ppm (X); P/X 600/100 ppm (XPH); P/X 450/75 ppm (XPM); P/X 300/50 ppm (XPB), et comparés à un témoin négatif (C) et un témoin positif contenant 10 ppm d'avilamycine (AV). Les aliments ont été fabriqués dans le moulin expérimental de l'INRA avec le même lot de matières premières. L'analyse de la composition de l'aliment (MAT, lipides, cendres) n'a pas montré de différences entre les lots expérimentaux. Pour chacun des deux additifs (FOS et extrait végétal) un prémélange à 1% a été réalisé sur base maïs et incorporé dans chaque lot au pourcentage voulu au détriment du maïs de la ration. La dose d'additifs présente dans les granulés a été contrôlée conforme à la dose attendue. Chacun des 7 traitements comprend 540 poulets répartis en 12 parquets de 45 animaux (6 parquets dans chaque salle). L'extrait végétal (XTRACT[™]) est un mélange de carvacrol (5,44 %), de cinnamaldehyde (3,25 %) et d'oléorésine de *Capsicum* standardisée (1,93 %). Le FOS (PROFEED[®]) est un fructo-oligosaccharide à courte chaîne (scFOS) produit à partir du sucre de betterave par biosynthèse enzymatique.

1.3. Performances

Le poids individuel des poulets est mesuré à J1, J11, J21 et J36 pour calculer le gain de poids (GP). La consommation d'aliment est mesurée par case et l'indice de consommation (IC) est calculé pour les périodes J1-J11, J12-J21, J22-J36 et J1-J36.

1.4. pH du tractus digestif, acides gras volatils caecaux et histomorphométrie de l'iléon

À J28, 12 poulets par traitement (un par case) sont sacrifiés par injection de pentobarbital de sodium et l'intestin est prélevé. Les contenus de l'intestin

(pool de duodénum, jéjunum, iléon et colon) d'une part et des 2 caeca d'autre part sont récupérés et le pH mesuré immédiatement. Les contenus caecaux sont ensuite conservés (-20 °C) pour mesurer les AGV par chromatographie en phase gazeuse selon la méthode décrite par Spiller (1980). Pour l'histomorphométrie, un segment (1,5 cm) est coupé sur l'iléon à égale distance du diverticule de meckel et des caeca, ouvert du côté opposé au mésentère et lavé 3 fois avec une solution de NaCl 0,9 % pour éliminer les restes de contenu intestinal. Les portions propres sont fixées dans une solution de formol tamponné à 10 % pendant 8 h puis lavées 3 fois et conservées à +4 °C dans une solution d'éthanol 70 %. Une portion de 0,5 cm² de chaque échantillon est ensuite colorée par la méthode Feulgen avec le réactif de Schiff. Après dissection à l'aide d'une loupe binoculaire, 10 villosités et 20 cryptes sont alors mesurées (hauteur et la largeur des villosités, profondeur et largeur des cryptes) à l'aide du logiciel d'analyse d'images Visilog 6.3 Viewer Lite. La surface des villosités et des cryptes est ensuite calculée.

1.5. Anaérobies sulfito-réductrices (ASR)

À J26 et J34, des échantillons de fientes cloacales sont prélevés pour réaliser le comptage des ASR. Pour chaque traitement, 6 pools fécaux, réalisés chacun à partir des fientes de 10 poulets prélevés dans 2 cases (5 poulets par case) sont analysés. Des dilutions au 1/10 sont immédiatement réalisées dans de l'eau peptonée tamponnée et des aliquotes de 1 mL sontensemencés en profondeur sur des boîtes de pétri contenant du milieu Agar Triptose Cyclosérine. Les plaques sont incubées à 37 °C pendant 20 h en anaérobiose à l'aide du système BBL™ GasPak™. Les colonies noires sont identifiées comme étant des ASR et les résultats des comptages sont transformés par la fonction log 10 avant l'analyse statistique.

1.6. Qualité des litières

À J33, un score global par case est donné par 3 opérateurs en attribuant visuellement un pourcentage de la surface de chaque case à 5 niveaux suivant le degré d'humidité et l'état de la litière.

1.7. Analyse statistique

Les données sont analysées à l'aide du logiciel Statview 5®. Les différences significatives entre les groupes expérimentaux sont déterminées par analyse de variance et les moyennes comparées par le test de Fisher ($p \leq 0,05$).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Au cours de cette expérience, l'avilamycine (AV) utilisée comme témoin positif a amélioré de 1,7% le poids à j36 ($p < 0,001$), et de 1,8% l'indice de

consommation pour la période 1-36j ($0,05 < p < 0,01$) comparé au contrôle négatif (C). L'effet des additifs testés est différent selon l'âge des animaux (Tableau 2).

Pendant la période de démarrage (J1-J11), le gain de poids de tous les groupes expérimentaux est inférieur à celui de C et de AV qui ne sont pas différents. Pour la période de croissance (J12-J21), le meilleur gain de poids est observé pour le groupe AV (594g ; $p < 0,001$). Le gain de poids de tous les groupes expérimentaux n'est pas différent de celui de C, sauf pour XPH qui reste le plus faible (572g ; $p < 0,001$). Pendant la période de finition (J22-J36), avec AV, X, P, XPM et XPB les poulets ont gagné significativement plus de poids qu'avec C et XPH ($p < 0,001$), et le gain de poids de P est même significativement supérieur à celui de AV et XPB. A J36, ceci se traduit par un poids des animaux supérieur au contrôle (C) et similaire au lot AV pour les deux additifs utilisés seuls (P et X). Pour les associations, avec la plus forte dose (XPH) on obtient un poids des poulets similaire à celui de C, et les deux autres doses (XPM et XPB) aboutissent à un poids intermédiaire des poulets qui ne diffère ni de celui de C ni de celui de AV.

Pendant les périodes démarrage et croissance, seule l'avilamycine améliore l'indice de consommation comparé au contrôle ($p < 0,001$).

Pendant la période de finition, aucune différence n'est notée entre les traitements. En considérant la période complète d'expérimentation (J1-J36), l'indice de consommation obtenu avec les aliments AV, X, P et XPB tend à être amélioré ($0,05 < p < 0,01$) mais celui de XPH et XPM n'est pas différent de celui de C.

Quel que soit l'aliment testé, aucun effet significatif n'a été observé sur le reste des paramètres contrôlés (Tableau 3): histomorphométrie de l'iléon, les populations intestinales d'ASR, le pH du tractus digestif, les AGV caecaux et la qualité des litières. Le mécanisme d'action des additifs testés est certainement multifactoriel. L'effet est certainement réparti sur différents paramètres physiologiques et l'échantillon prélevé n'a pas permis de les mettre en évidence à l'aide des paramètres étudiés. Des techniques plus fines d'étude de la composition du microbiote pourraient s'avérer plus appropriées pour de futures études.

Les AFC se montrent généralement plus efficaces sur des animaux sous une pression microbiologique plus forte et leur effet sur les performances est plus faible dans des systèmes de production ayant un haut niveau d'hygiène (Thomke and Elwiger, 1998). Afin de valider notre modèle, nous avons utilisé un additif bien connu (l'avilamycine) comme contrôle positif. Dans notre expérience, malgré un indice de consommation amélioré, le gain de poids des poulets de 11 jours nourris avec AV n'a pas été différents de ceux des animaux témoins (C), cela

suggère que le niveau de stress microbiologique était bas jusqu'à J11 et que les conditions étaient optimales. Par la suite, alors que les animaux, plus âgés, étaient peut-être plus stressés à cause du manque d'espace (5, 12 et 29 Kg/m² respectivement à J11, J22 et J36) et de la dégradation des litières, l'effet de l'avilamycine, utilisé comme témoin positif, a été du même ordre que dans des conditions d'élevage de terrain avec une amélioration des performances d'environ 2 % comparé au groupe C. On peut donc supposer que les résultats obtenus avec les aliments expérimentaux peuvent être validés en ce qui concerne leur évaluation comme alternatives aux AFC.

Avec le même mélange d'extraits végétaux, Jamroz et Kamel (2002) et Jamroz et al. (2003) ont publié des améliorations significatives des performances du poulet de chair avec 150-300 ppm alors qu'avec 200 ppm, Hernández et al. (2004) n'ont pas trouvé d'effet promoteur de la croissance. Pour ce dernier essai, on peut supposer que les hautes conditions d'hygiène trop éloignées des conditions de production de terrain peuvent avoir diminué la réponse des animaux. Dans notre étude, les extraits végétaux ont amélioré le gain de poids de la même façon que l'AV à la fin de la période expérimentale, lorsque les poulets étaient peut-être soumis à une pression sanitaire plus forte, confirmant le fait que ces additifs sont plus efficaces dans des conditions d'élevage moins favorables. En effet, dans les parquets de 3 m², la combinaison du confinement des animaux, l'encombrement des abreuvoirs et de la mangeoire, le nombre croissant de kg/m² et la dégradation progressive des litières, aboutissent à augmenter la pression sanitaire surtout en période de finition. De façon surprenante, à J11 un gain de poids plus faible a été observé pour les lots contenant les extraits de plantes et/ou le prébiotique en comparaison aux groupes AV et C, présentant aussi un indice de consommation moins bon que AV, mais pas différent de C. Pendant la même période, aucune modification significative de la consommation n'a pas été observée, mais des résultats numériquement inférieurs ont été obtenus pour tous les lots en comparaison avec C. Toujours avec le même additif, Hernández et al. (2004) n'ont pas trouvé de différences significatives sur la consommation des poulets mâles entre 7 et 42 jours, seule une légère détérioration non significative a pu être observée en comparaison avec le groupe contrôle (140,4 vs 143,1 g/j), et aussi pour l'indice de consommation sur la même période (1,68 vs 1,72 g/g). De même, Jamroz et al. (2005) ont testé 100 ppm d'XTRACT™ sur des poulets et ont trouvé un meilleur indice de consommation et un poids similaire, indiquant donc une consommation inférieure pour le groupe supplémenté avec l'extrait de plantes en comparaison avec le contrôle.

Le traitement P est un scFOS issu de la betterave sucrière employé pour son effet prébiotique. Wu et al. (1999) ont noté une amélioration du poids et de l'indice de consommation de poulets avec incorporation de 0,25-0,5 % de FOS, en comparaison avec le groupe non supplémenté, et Xu et al. (2003) ont signalé des améliorations similaires avec l'incorporation de 0,4 % de FOS. Cependant, aucun contrôle positif contenant un AFC n'était inclus dans ces études. Nos résultats montrent un effet significatif avec une dose de FOS beaucoup plus faible (0,06 %). Comme pour l'extrait de plantes, le FOS a été plus efficace à la fin de l'expérience lorsque la qualité des litières se détériorait.

Vers la fin de l'essai, les performances des poulets nourris avec le mélange à la plus haute dose de X et P (XPH) n'étaient pas différentes de celles du groupe témoin. Il semble que 600 ppm du prébiotique associé à 100 ppm de l'extrait de plantes ont eu un effet antagoniste qui a inhibé leur effet bénéfique sur les performances. Comme le principal effet de ces produits est lié au contrôle du microbiote intestinal (Xu et al., 2003 ; Hernández et al., 2004), d'autres recherches sont nécessaires pour identifier les microorganismes impliqués afin de mieux comprendre cet effet antagoniste. Dans des essais qui évaluent les performances des poulets de chair, un effet antagoniste entre FOS et la bacitracine avait été suggéré (Waldroup et al., 1993). A l'inverse, pour les dosages plus faibles de X et P (XPM et XPB), un effet additif a été montré, avec des performances similaires à celles obtenus avec les additifs X ou P seuls.

CONCLUSION

100 ppm de l'extrait de plantes testé ou 600 ppm du FOS testé ont amélioré à J36 les performances zootechniques du poulet de chair dans la même mesure que l'avilamycine. Lorsque les produits ont été mélangés, un effet positif est montré pour les doses les plus basses (XPM et XPB) comparé à C et un effet antagoniste pour la dose la plus haute (XPH).

Ces résultats montrent qu'XTRACT™ et PROFEED® peuvent être considérés comme des alternatives aux AFC pour des poulets de chair, surtout en période de finition. Cependant d'autres recherches sont nécessaires pour comprendre les mécanismes impliqués.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Dibner, J.J., Richards, J.D., 2005. *Poult. Sci.* (84), 634-643
- Hernández, F., Madrid, J., García, V., Orengo, J., Megías, M.D., 2004. *Poult. Sci.*, (83), 169-174
- Jamroz, D., Kamel C., 2002. *J. Anim. Sci.*, (80) (Suppl.1), 4. (Abstr.)

Jamroz, D., Orda, J., Kamel, C., Wiliczekiewicz, A., Wartelecki, T., Skorupinska, J., 2003. *J. Anim. Feed Sci.*, (12), 583-596 (Abstr.)
 Jamroz, D., Wiliczekiewicz, A., Wartelecki, T., Orda, J., Skorupinska, J., 2005. *Br. Poult. Sci.*, (46), 485-493
 Spiller, G.A., 1980. *Am. J. Clin. Nutr.* (33), 754-759

Thomke S., Elwinger K., 1998. *Ann. Zootech.*, (47), 85-97
 Waldroup, A.L., Skinner J.T., Hierholzer, R.E., Waldroup, P.W., 1993. *Poult. Sci.*, (72), 643-50
 Wu, T.X., Dai, X.J., Wu, L.Y., 1999. *Acta Agricult. Zhejiangensis.*, (11), 85-87
 Xu, Z.R., Hu, C.H., Xia, M.S., Zhan, X.A., Wang, M.Q., 2003. *Poult. Sci.*, (82), 1030-1036

Tableau 2. Effet des traitements sur les performances du poulet de chair.

	Aliments						ES ¹	p ²	
	C	AV	P	X	XPH	XPM			XPB
Poids (g)									
Jour 1	40,8	40,9	40,6	40,7	40,6	40,6	40,7	0,04	NS
Jour 11	302 ^a	305 ^a	297 ^b	295 ^b	295 ^b	295 ^b	294 ^b	0,6	***
Jour 21	886 ^b	899 ^a	875 ^{bc}	876 ^{bc}	867 ^c	873 ^c	876 ^{bc}	1,5	***
Jour 36	2124 ^{bc}	2162 ^a	2161 ^a	2156 ^a	2112 ^c	2146 ^{ab}	2138 ^{ab}	3,2	***
GP (g)									
Jours 1-11	261 ^a	264 ^a	256 ^b	254 ^b	254 ^b	255 ^b	254 ^b	0,6	***
Jours 12-21	583 ^b	594 ^a	577 ^{bc}	581 ^b	572 ^c	578 ^{bc}	582 ^b	1,1	***
Jours 22-36	1237 ^c	1261 ^b	1284 ^a	1278 ^{ab}	1242 ^c	1271 ^{ab}	1261 ^b	2,5	***
IC (g/g)									
Jours 1-11	1,15 ^b	1,10 ^a	1,15 ^b	1,14 ^b	1,16 ^b	1,15 ^b	1,15 ^b	0,004	**
Jours 12-21	1,45 ^b	1,41 ^a	1,44 ^b	1,44 ^b	1,43 ^{ab}	1,44 ^b	1,43 ^b	0,003	**
Jours 22-36	1,81	1,79	1,77	1,77	1,79	1,78	1,78	0,004	NS
Jours 1-36	1,62 ^c	1,59 ^a	1,60 ^{ab}	1,60 ^{ab}	1,61 ^{bc}	1,60 ^{abc}	1,60 ^{ab}	0,003	†

^{a, b, c} : Les valeurs moyennes sur la même ligne avec des lettres différentes sont statistiquement différentes par le test de Fisher ($p \leq 0,05$).

¹ Erreur standard de la moyenne.

² Degré de signification : NS, non significatif $P > 0,10$; †, tendance $0,05 < P < 0,10$; ** $0,001 < P < 0,01$; *** $P < 0,001$

Tableau 3. Effet des traitements sur les paramètres reflétant le fonctionnement du tube digestif.

Paramètre	Aliments					ES ¹	p ²
	C	AV	P	X	XPH		
Hauteur villosité (mm)	0,511	0,492	0,524	0,531	0,493	0,0093	NS
Profondeur crypte (mm)	0,124 ^{ab}	0,129 ^{ab}	0,133 ^{ab}	0,138 ^a	0,119 ^b	0,0023	†
Ratio	4,10	3,83	3,98	3,92	4,21	0,077	NS
Surface villosité (mm ²)	0,609	0,608	0,659	0,698	0,617	0,0194	NS
AGV totaux (mg)	14,83	29,63	31,67	30,72	24,26	2,37	NS
Proportion Ac. Acétique (%)	64,30	59,45	61,51	61,15	60,26	0,94	NS
Proportion Ac. Butyrique (%)	22,11	27,47	25,02	24,56	25,3	0,49	NS
Proportion Ac. Propionique (%)	10,25	9,16	8,85	9,72	10,44	0,15	NS
pH intestinal	5,90	6,18	6,19	6,12	6,08	0,046	NS
pH caecal	6,13	6,10	6,17	6,25	6,26	0,054	NS
ASR j26 (log 10 UFC)	4,48	4,36	4,76	4,24	4,35	0,133	NS
ASR j34 (log 10 UFC)	4,11	4,97	3,51	3,19	4,45	0,188	NS
Notation litières	2,08	2,12	2,22	2,18	2,06	0,047	NS

^{a, b} : Les valeurs moyennes sur la même ligne avec des lettres différentes sont statistiquement différentes par le test de Fisher ($p \leq 0,05$).

¹ Erreur standard de la moyenne.

² Degré de signification : NS, non significatif $P > 0,10$; †, tendance $0,05 < P < 0,10$

EFFETS DE FRUCTO-OLIGOSACCHARIDES OU DES GRAINS ENTIERS DE BLE SUR LES PERFORMANCES ET LE TUBE DIGESTIF DU POULET DE CHAIR

Williams Jeanne, Gabriel Irène, Mallet Serge, Leconte Maryse, Lessire Michel

INRA, UR83 Recherches Avicoles, 37380 Nouzilly

Ce travail a été réalisé dans le cadre de l'Unité Mixte Technologique BIRD
(Biologie et Innovation pour la Recherche et le Développement en aviculture)

RÉSUMÉ

L'objectif de ce travail est d'étudier deux conduites alimentaires susceptibles de modifier la flore, la structure et/ou le fonctionnement du tube digestif ainsi que les performances de croissance du poulet de chair. Pour cela 4 aliments sont étudiés: un témoin négatif (TN), un témoin positif contenant 10 ppm d'avilamycine (TP), un aliment contenant 0,06% de fructo-oligosaccharides (FOS) et un autre composé de 40% de grains entiers de blé et d'un complémentaire protéique (GE). Les performances zootechniques sont suivies de 0 à 6 semaines, et les caractéristiques du tube digestif sont étudiées à 3 semaines (flore aérobie dans l'iléon, les caeca et le cloaque, morphométrie de l'iléon, et différentes activités enzymatiques intestinales).

Le poids vif et l'indice de consommation sont améliorés pour les animaux du régime TP par rapport au régime TN. Les animaux du régime FOS ont une consommation et un poids vif plus faibles que ceux du régime TN, mais leur indice de consommation est significativement amélioré. Le poids vif des animaux recevant le régime GE est significativement plus faible que ceux recevant le régime TN. De plus, leur consommation est numériquement plus faible. Leur indice de consommation est similaire. Le régime TP conduit à une réduction des bactéries totales aérobies dans les caeca par rapport au régime TN. Au niveau de la morphométrie de l'iléon, la seule différence observée est l'augmentation de la surface des cryptes avec le régime GE par rapport au régime TN. Le régime TP entraîne par rapport au régime TN une augmentation de l'activité de la leucine aminopeptidase (LAP) dans le duodénum et de la maltase dans le jéjunum. Le régime GE entraîne une augmentation de l'activité de la LAP dans le duodénum. Dans ce travail, l'avilamycine améliore les performances ce qui pourrait être dû à une réduction de certaines populations bactériennes digestives et à l'augmentation de certaines activités enzymatiques digestives. Les baisses de poids observées dans le cas des régimes FOS et GE s'expliquent en grande partie par une baisse de la consommation.

ABSTRACT

The objective of this experiment was to study two feeding methods, which could potentially alter the gut microflora, the structure and/or the function of the digestive tract and thereby improve the performance of broilers. Four different treatments were studied: a negative control (TN), a positive control with 10 ppm avilamycin (TP), a diet containing 0.06% fructo-oligosaccharides (FOS) and one composed of 40% of whole wheat and protein concentrate (GE). The performance was measured from 0 to 6 weeks, and characteristics of the digestive tract were studied at 3 weeks (aerobic bacterial counts in the contents of the ileum, caeca and cloaca, the gut morphometry in the ileum, the activity of different intestinal enzymes).

The birds on treatment AB had improved live weight and FCR compared to treatment C. The birds fed the FOS had a lower feed intake and a lower live weight compared to the birds on treatment C, but their FCR was significantly improved. Treatment WW resulted in a lower live weight than treatment C. Moreover their feed intake was numerically lower. Their FCR values were similar. For treatment AB, the total number of aerobic bacteria in the caecum was reduced. For the ileal morphometry the only difference was a greater crypt surface for treatment GE compared to treatment TN. For treatment AB, the leucine aminopeptidase activity in the duodenum and maltase in the jejunum were higher than for treatment C. Furthermore, treatment WW resulted in an increase in the LAP activity in the duodenum. In this work, the avilamycin resulted in an improved performance that might be due to a reduction in the number of bacteria in the gut flora and an increase in the level of activity of some digestive enzymes. The reduced live weight observed with the FOS and WW diets may be explained by a lower feed intake.

INTRODUCTION

Jusqu'à présent la flore digestive des volailles était contrôlée par l'utilisation d'antibiotiques facteurs de croissance (AFC) permettant d'améliorer les performances des animaux (Thomke et Elwinger, 1998a). Depuis leur interdiction en janvier 2006 dans l'union européenne, des alternatives sont recherchées. Ainsi les fructooligosaccharides (FOS) et l'utilisation de grains entiers de blé pourraient être proposées.

Les FOS sont des oligosaccharides non hydrolysés par les enzymes digestives animales constituant ainsi un substrat pour la microflore du tube digestif. Ainsi, Xu et al. (2003) ont montré chez les volailles de chair, que les FOS ont un effet bénéfique sur la flore digestive, en stimulant le développement de bactéries favorables (lactobacilles et bifidobactéries) et en réduisant la croissance de bactéries potentiellement pathogènes comme les coliformes. Cet effet bénéfique sur la flore digestive pourrait expliquer l'amélioration de la structure intestinale caractérisée par une augmentation de la hauteur des villosités iléales et une baisse de la taille des cryptes dans le jéjunum et l'iléon (Xu et al., 2003). Les effets bénéfiques sur la flore digestive et la structure intestinale sont probablement à l'origine de l'amélioration des performances observées avec les FOS (Ammerman et al., 1988 ; Xu et al., 2003).

L'introduction de grains entiers de blé dans l'aliment peut également modifier la flore digestive. Ainsi au niveau intestinal, une baisse des populations de coliformes (Gabriel et al., 2003b) et d'entérobactéries lactose négatives (Engberg et al., 2004) a été rapportée. Ces baisses de populations bactériennes pourraient être dues à une acidification plus importante du contenu du gésier (Gabriel et al., 2003a ; Engberg et al., 2004). Une augmentation de la population de certains lactobacilles a aussi été observée (Engberg et al., 2004). Par ailleurs, l'inclusion de grains entiers de blé peut favoriser le développement et la maturation de la muqueuse intestinale (Gabriel et al., 2005). Ainsi, ce type de régime peut améliorer les performances zootechniques des animaux (Plavnik et al., 2002).

L'objectif de ce travail est d'étudier les effets de ces deux alternatives potentielles aux AFC (FOS et grains entiers de blé) sur la flore digestive, la structure et le fonctionnement du tube digestif ainsi que sur les performances du poulet de chair.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Animaux

L'étude est réalisée avec des poulets de chair élevés au sol pendant 42 jours dans des conditions standard de température et d'éclairage. 864

poussins mâles d'un jour (Ross PM3) sont répartis selon leur poids vif en 24 parquets (3 m²) de 36 animaux dans un bâtiment expérimental.

1.2. Régimes

A partir d'une même formule de base, contenant principalement du blé (40%), du maïs et du tourteau de soja (broyés au broyeur à marteaux, grille de 6 mm), de l'huile de colza, du gluten de maïs, ainsi que des vitamines, des minéraux, des oligoéléments, des acides aminés (Lys, Met) et un anticoccidien sans effet sur les bactéries intestinales (Clinacox), quatre aliments sont fabriqués: un témoin négatif (TN), un témoin positif (TP) contenant 10 ppm d'avilamycine (Maxus G200 ; Lilly, France), un régime FOS contenant 0,06% de FOS à courtes chaînes (Beghin-Meiji, France) et un contenant des grains entiers de blé (GE). Chaque aliment est décliné en démarrage (1-11 j ; EM 3000 kcal/kg, protéines 22%, Lys 1,2%), croissance (12-25 j ; EM 3050 kcal/kg, protéines 20%, Lys 1,1%), finition (26-36 j) et retrait (37-42 j) (EM 3050 kcal/kg, protéines 19,5%, Lys 0,95). Ces aliments sont granulés (2.5 mm) à la vapeur (55,3-65,7°C). Pour l'aliment GE, l'introduction des grains entiers s'effectue progressivement. La moitié du blé broyé contenu dans l'aliment de base est remplacée par des grains entiers de blé broyés grossièrement (broyeur à marteaux, grille de 12 mm) de 8 à 9 j, puis par des grains entiers de 10 à 11 j. A partir de 12 j, l'ensemble du blé broyé est remplacé par des grains entiers. Le reste de l'aliment de base est granulé et présenté mélangé aux grains entiers.

1.3. Mesures effectuées

Les animaux sont pesés individuellement à 11, 25, 36 et 42 j. La consommation de chaque parquet est mesurée afin de calculer l'indice de consommation (IC) aux mêmes dates.

Les caractéristiques du tube digestif des animaux sont déterminées à 3 semaines d'âge. Pour cela, de 22 à 24 j, dans chacun des 6 parquets affectés à un même régime, 6 animaux de poids moyen sont utilisés pour prélever leurs fientes cloacales qui sont regroupées et conservées à -70°C. Les animaux sont ensuite sacrifiés par injection intraveineuse de pentobarbital de sodium. Le contenu de l'iléon et des caeca de chacun de ces 6 animaux est prélevé, regroupé et conservé à -70°C. Pour la moitié de ces animaux (soit 18 animaux / régime) un fragment (0,5 cm de long) d'intestin situé au milieu de l'iléon, est prélevé, rincé (NaCl 0,9%) puis fixé (formol tamponné), pendant 20h à 23h avant d'être conservé dans de l'éthanol 70% à 4°C. De plus, le tiers médian de chaque segment intestinal (duodénum, jéjunum et iléon), après avoir été vidé et rincé (NaCl 0,9%) est gratté pour récupérer la muqueuse intestinale qui est congelée dans l'azote

liquide et conservée à -70°C . Par ailleurs, dans le cas des régimes TN et GE, le gésier est prélevé, vidé et pesé.

La flore digestive est déterminée par comptages bactériens (lactobacilles, coliformes et bactéries totales aérobies, Gabriel et al., 2003b) dans les contenus du cloaque, de l'iléon et des caeca. La morphométrie iléale est déterminée sur les échantillons conservés dans l'éthanol 70% selon une méthode de microdissection (Goodlad et al., 1991). Pour chaque échantillon, la longueur et la largeur de 10 villosités et 20 cryptes sont mesurées, puis les surfaces des villosités et des cryptes sont calculées. Les activités enzymatiques intestinales étudiées sont la phosphatase alcaline (PA) utilisée comme critère de maturité des entérocytes, ainsi que deux enzymes digestives, la leucine aminopeptidase (LAP) et la maltase. La PA et la LAP sont dosées sur un échantillon de 150 mg selon les méthodes décrites par Gabriel et al. (2003a) et la maltase selon la méthode de Giorgi et al. (1992).

1.4. Analyses statistiques

Les analyses statistiques sont effectuées à l'aide du logiciel Statview par analyse de variance, et comparaisons des moyennes selon le test de Student Newman-Keuls ($p < 0,05$). Pour le régime GE, la proportion de blé consommée est comparée à la valeur théorique par un test T unilatéral ($p < 0,05$).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Performances zootechniques

Durant toute la période d'élevage, le régime TP améliore le poids vif et l'IC par rapport au régime TN (Tableau 1) comme observé couramment avec les AFC (Thomke et Elwinger, 1998a).

Les animaux du régime FOS ont un poids vif et une consommation sur toute la période d'étude plus faibles que ceux du régime TN. Cet effet négatif sur le poids est en contradiction avec l'étude de Catala-Gregori et al. (2007) montrant une amélioration des gains de poids qui pourrait être due à la densité légèrement plus élevée, 15 animaux / m^2 au lieu de 12 dans notre étude. Cependant, l'IC est significativement amélioré sur toute la période par rapport au régime TN, ce qui est en accord avec les résultats de Ammerman et al. (1988), Xu et al. (2003) et Catala-Gregori et al. (2007). De plus, l'IC des poulets recevant le régime FOS est similaire à celui du régime TP.

Avec le régime GE, la proportion de grains entiers ingérés au début de l'introduction de ce mode d'alimentation (10 à 11 j) est inférieure à celle recherchée, $13,8 \pm 0,6 \%$ au lieu de 20%, puis les valeurs se rapprochent de la quantité théorique (40%) tout en étant légèrement inférieures, $38,1 \pm$

$0,3 \%$ de 12 à 25 j et $38,8 \pm 0,3 \%$ de 26 à 36 j, et même supérieures en fin de période, $40,5 \pm 0,1 \%$ de 37 à 42 j. Ceci entraîne une consommation protéique plus élevée avec le régime GE, $22,9 \pm 0,08 \%$ au lieu de 22 % de 10 à 11 j, $20,3 \pm 0,05 \%$ au lieu de 20 % de 12 à 25 j, et $19,7 \pm 0,04 \%$ au lieu de 19,5 % de 26 à 36 j, et plus faible en fin de période, $19,45 \pm 0,02 \%$ au lieu de 19,5 %. Cependant ces différences sont faibles. Les animaux recevant ce régime ont un poids vif à 11 j, après le début de l'introduction des grains entiers, similaire à celui des animaux recevant le régime TN. Cependant, de 25 à 42 j, le poids vif des animaux recevant le régime GE est inférieur à celui de ceux recevant le régime TN. De plus, leur consommation est numériquement plus faible de 12 à 42 j, ce qui pourrait être due à la différence de structure de l'aliment. L'IC des animaux est similaire entre les régimes TN et GE sur l'ensemble de la période d'étude. Une consommation et des poids plus faibles avec des grains entiers de blé ont déjà été rapportés (Engberg et al., 2004). Cependant, la plupart des études montrent un effet bénéfique ou une absence d'effet sur la croissance ou l'IC (Preston et al., 2000 ; Plavnik et al., 2002 ; Gabriel et al., 2003a).

2.2. Caractéristiques du tube digestif

Dans cette étude, le régime contenant l'avilamycine entraîne une réduction du nombre de bactéries totales aérobies dans les caeca par rapport au régime TN, $8,78 \pm 0,42$ et $10,25 \pm 0,16$ Log Unité Formant Colonies / g de contenu, conformément à l'effet attendu des AFC (Thomke et Elwinger, 1998b). La morphométrie iléale n'est pas modifiée (résultats non présentés), bien que cet antibiotique puisse entraîner une baisse de la profondeur des cryptes iléales (Sarica et al., 2005). Par contre l'activité d'enzymes digestives est augmentée dans le duodénum (LAP) et dans le jéjunum (maltase) par rapport au régime TN (Figures 1 et 2), ce qui peut conduire à une meilleure utilisation des aliments. L'effet de l'avilamycine sur la flore digestive et la fonctionnalité intestinale contribuent vraisemblablement à l'amélioration des performances observée avec cet AFC.

Dans le cas du régime FOS, la flore n'est pas modifiée par rapport au régime TN (résultats non présentés). Ceci diffère des résultats de Xu et al. (2003) montrant une augmentation du nombre de lactobacilles ainsi qu'une réduction du nombre de coliformes dans l'intestin grêle et les caeca avec un taux d'inclusion de FOS de 0,4%. Avec un taux plus faible, 0,2%, cet effet sur la flore n'est maintenu que dans les caeca (Xu et al., 2003). Le plus faible taux d'incorporation de FOS dans notre étude pourrait expliquer l'absence d'effet observé sur les comptages bactériens. Cependant, d'autres modifications de la flore, non mises en évidence par

les méthodes utilisées dans cette étude, peuvent avoir lieu. Il a ainsi été montré que les FOS à 0,06% peuvent moduler la flore, en particulier les Lactobacilles dans l'iléon (Massias et al., 2006).

La structure iléale n'est pas modifiée (résultats non présentés) comme dans le cas de l'étude de Catala-Gregori et al. (2007). Xu et al. (2003) ont cependant observé une augmentation de la hauteur des villosités dans l'iléon et une baisse de la profondeur des cryptes dans le jéjunum et l'iléon. Ces effets ne sont observés qu'avec une teneur élevée en FOS de 0,4%. Avec 0,2% de FOS la taille des villosités et des cryptes n'est plus modifiée, seul le rapport de longueur villosité / crypte dans l'iléon est supérieur. La plus faible concentration de FOS utilisée dans notre étude et celle de Catala-Gregori et al. (2007) (0,06%) pourrait expliquer l'absence d'effet observable sur la morphométrie intestinale. L'absence d'effet des FOS sur les activités enzymatiques intestinales (Figures 1, 2 et 3) pourrait aussi être due à cette faible concentration.

Les modifications potentielles de flore rapportées dans la littérature, comme l'augmentation des bifidobactéries, pourraient être à l'origine de l'amélioration de l'IC observé dans notre étude. Cependant, la stimulation de la croissance bactérienne pourrait entraîner une stimulation du système immunitaire intestinal (Bornet et Brouns, 2002), et être à l'origine de la baisse de consommation (Klasing et al., 1987) observée dans notre étude. Cette baisse de consommation pourrait expliquer les plus faibles poids observés avec ce régime.

La consommation du régime GE n'entraîne aucune modification de la microflore digestive par rapport au régime TN (résultats non présentés) comme ceci a été observé dans une étude précédente (Gabriel et al., 2005). Cependant, d'autres études utilisant des grains de blé entiers chez le poulet de chair ont mis en évidence dans l'intestin des baisses de populations bactériennes comme les entérobactéries lactose négatives ou les coliformes (Gabriel et al., 2003b ; Engberg et al., 2004). Ces baisses de populations bactériennes pourraient être dues à un pH plus faible du gésier lié à une activité plus importante de cet organe comme le montre son poids plus élevé (Plavnik et al., 2002 ; Gabriel et al., 2003a ; Engberg et al., 2004). Dans notre étude, bien que le poids du gésier soit aussi plus élevé en présence de grains entiers par rapport au régime TN, 2,14% et 1,50% du poids vif respectivement, la flore étudiée ne laisse pas apparaître de modification, mais d'autres populations bactériennes non étudiées au cours de ce travail peuvent avoir été modifiées.

Au niveau intestinal, les grains entiers ne modifient pas la taille des villosités iléales (résultats non présentés), mais augmentent la surface des cryptes iléales ($8\,680 \pm 500 \mu\text{m}^2$ au lieu de $7\,260 \pm 380 \mu\text{m}^2$) et augmentent l'activité de la LAP dans le

duodénum (Figure 1). Peu d'études ont été effectuées pour mesurer l'effet de la consommation de grains entiers sur les modifications de l'intestin grêle. Ainsi Wu et al. (2004) n'ont pas observé de modification de la structure intestinale au niveau de l'iléon. Cependant au niveau du duodénum une augmentation du rapport de surface villosité / crypte a été observée (Gabriel et al., 2005), traduisant une structure intestinale plus favorable à l'animal dans le cas de la consommation de grains entiers, ce qui est en accord avec l'activité plus importante de la LAP dans le duodénum, observée dans notre étude. Cependant, les effets sur les activités enzymatiques rapportés dans différentes études sont variables, aussi bien des baisses que des augmentations d'activités ont été observées (Gabriel et al., 2003a et 2005). Contrairement aux modifications affectant le gésier, les modifications au niveau intestinal apparaissent variables d'une étude à l'autre.

Figure 1. Activités enzymatiques dans le duodénum (U/g de tissus). (a,b) les valeurs avec des lettres différentes pour une activité enzymatique donnée sont significativement différentes

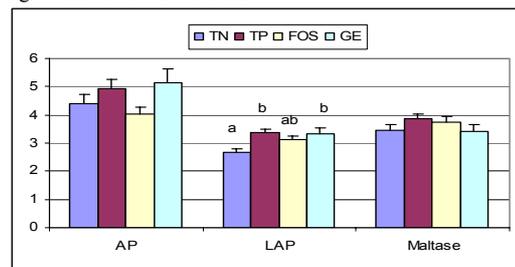


Figure 2. Activités enzymatiques dans le jéjunum (U/g de tissus) (a,b) les valeurs avec des lettres différentes pour une activité enzymatique donnée sont significativement différentes

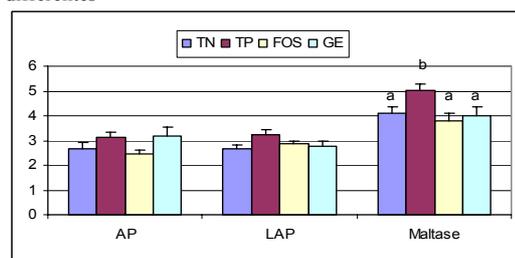
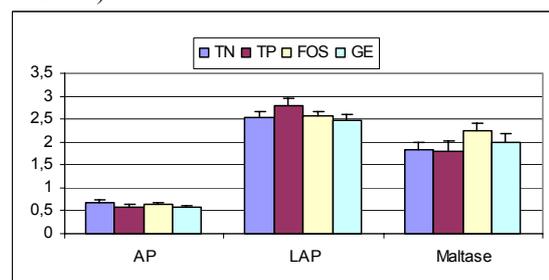


Figure 3. Activités enzymatiques dans l'iléon (U/g de tissus)



CONCLUSION

Dans cette étude, alors que l'avilamycine à 10 ppm améliore le poids final des animaux, le FOS (0,06%) ou les grains entiers de blé (40%) le réduisent. Le régime contenant l'avilamycine améliore également l'IC ce qui pourrait être dû à la diminution de la flore digestive et à l'augmentation de certaines activités enzymatiques digestives. Dans le cas du régime FOS, les gains de poids plus faibles pourraient être dus à la plus faible consommation de ce régime, aucune modification physiologique n'ayant été observée. Toutefois, ce régime entraîne une amélioration de l'IC. Dans le cas du régime GE, le poids vif plus faible, malgré l'augmentation d'une activité enzymatique digestive, est à relier à une consommation alimentaire plus faible de cette forme d'aliment.

Remerciements

Ces travaux ont été financés par le programme Européen Poultryflorcut (2005-2008).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Ammerman, E., Quarles, C., Twining, P.V., 1988. Poul. Sci., (67), 46.
 Borner, F.R., Brouns, F., 2002. Nutr. Rev., (60), 326-334.
 Catala-Gregori, P., Mallet, S., Travel, A., Lessire, M., 2007. 7^{ème} Journées de la Recherche Avicole, Tours.
 Engberg, R.M., Hedemann, M.S., Steinfeldt, S., Jensen, B.B. 2004. Poul. Sci., (83), 925-938.
 Gabriel, I., Mallet, S., Leconte, M., 2003a. Br. Poul. Sci., (44), 283-290.

Gabriel, I., Mallet, S., Leconte, M., Fort, G., Naciri, M., 2003b. Poul. Sci., (82), 1668-1676.
 Gabriel, I., Mallet, S., Leconte, M., Le Hagarat, A., Lalles, J.P., 2005. 2^{ème} Congrès de la Société Française de Nutrition, Marseille, France, p. 132.
 Giorgi, M., Vanni, P., Pinzauti, G., 1992. Enzyme, (46), 299-303.
 Goodlad, R.A., Levi, S., Lee, C.Y., Mandir, N., Hodgson, H., Wright, N.A., 1991. Gastroenterology, (101), 1235-1241.
 Klasing, K.C., Laurin, D.E., Peng, R.K., Fry, D.M., 1987. J. Nutr., (117), 1629-1637.
 Massias, B., Arturo-Schaan, M., Elie, A.M., Bebin, K., Hocde, V., Denayrolles, M., Urdaci, M.C., 2006. Reprod. Nutr. Develop., (46), S105.
 Plavnik, I., Macovsky, B., Sklan, D., 2002. Anim. Feed Sci. Technol., (96), 229-236.
 Preston, C.M., McCracken, K.J., McAllister, A., 2000. Br. Poul. Sci., (41), 324-331.
 Sarica, S., Erdogan, S., Koc, A., Erdogan, Z., 2005. Indian J. Anim. Sci., (75), 961-964.
 Thomke S., Elwinger, K., 1998a. Ann. Zootech., (47), 85-97.
 Thomke S., Elwinger, K., 1998b. Ann. Zootech., (47), 153-167.
 Wu, Y.B., Ravindran, V., Thomas, D.G., Birtles, M.J., Hendriks, W.H., 2004. Br. Poul. Sci., (45), 385-394.
 Xu, Z.R., Hu, C.H., Xia, X.A., Zhan, X.A. & Wang, M.Q., 2003. Poul. Sci., (82), 1030-1036.

Tableau 1. Performances zootechniques en fonction des régimes : poids vif, IC et consommation

	Témoin Négatif (TN)	Témoin Positif (TP)	FOS	Grains Entiers (GE)	P
Poids vif (g)					
J11	242 ± 2,2 ^b	255 ± 2,2 ^a	221 ± 2,3 ^c	245 ± 2,1 ^b	<0,0001
J25	994 ± 10,5 ^b	1078 ± 10,5 ^a	910 ± 12,8 ^d	946 ± 9,3 ^c	<0,0001
J36	1854 ± 18,6 ^b	2006 ± 18,5 ^a	1745 ± 23,0 ^c	1744 ± 17,2 ^c	<0,0001
J42	2453 ± 23,2 ^b	2647 ± 22,8 ^a	2328 ± 28,0 ^c	2332 ± 21,4 ^c	<0,0001
Indice de consommation					
J1-11	1,25 ± 0,008 ^{bc}	1,22 ± 0,004 ^{ab}	1,28 ± 0,009 ^c	1,19 ± 0,019 ^a	0,0002
J12-25	1,50 ± 0,006 ^{ab}	1,46 ± 0,010 ^a	1,45 ± 0,011 ^a	1,53 ± 0,023 ^b	0,0018
J26-36	1,77 ± 0,011 ^c	1,73 ± 0,008 ^b	1,69 ± 0,008 ^a	1,80 ± 0,014 ^c	<0,0001
J37-42	1,85 ± 0,019	1,83 ± 0,013	1,81 ± 0,018	1,79 ± 0,022	0,1539
J1-42	1,64 ± 0,004 ^b	1,61 ± 0,005 ^a	1,60 ± 0,006 ^a	1,65 ± 0,009 ^b	<0,0001
Consommation (g/jour)					
J1-11	25 ± 0,2 ^{ab}	26 ± 0,3 ^a	22 ± 0,5 ^c	24 ± 0,4 ^b	<0,0001
J12-25	80 ± 1,1 ^{ab}	84 ± 1,3 ^a	70 ± 2,2 ^c	75 ± 1,9 ^b	<0,0001
J26-36	134 ± 3,5 ^b	144 ± 1,5 ^a	126 ± 4,6 ^b	128 ± 2,0 ^b	0,0032
J37-42	182 ± 2,2 ^{ab}	192 ± 3,6 ^a	174 ± 5,2 ^b	175 ± 3,1 ^b	0,0094
J1-42	91 ± 1,6 ^{ab}	96 ± 1,0 ^a	84 ± 2,8 ^c	87 ± 1,5 ^{bc}	0,0010

(a-c) Les moyennes ± erreur standard dans une même ligne suivies de lettres différentes sont significativement différentes (p<0,05)

**INCORPORATION DE DIFFERENTS EXTRAITS DE RAISIN DANS
L'ALIMENTATION DU POULET DE CHAIR : EFFET SUR LES PERFORMANCES
DE CROISSANCE ET LA STABILITE MEMBRANAIRE DES GLOBULES ROUGES**

Juin Hervé¹, Decousser Alexia², Chicoteau Pierre²

¹*INRA, EASM Le Magneraud Saint-Pierre d'Amilly 17700 SURGERES,*
²*NOR-FEED SUD, 1 rue Alexandre Fleming 49066 ANGERS*

RÉSUMÉ

Trois extraits de raisin incorporés dans l'alimentation du poulet de chair entre 0 et 21 jours ont été comparés à un témoin négatif (alimentation standard) et à un témoin positif (+ 100 ppm de vitamine E). A 21 jours, par rapport au témoin négatif, il a été observé une croissance significativement supérieure (respectivement +4.8% et +5.0 %) pour les animaux ayant reçu les extraits 1 (Nor-Grape 80 Poudre) et 2 (Nor-Grape 20 Liquide). L'extrait 3 et le témoin positif n'ont pas entraîné d'amélioration de la croissance des poulets de 0 à 21 jours d'âge. Les extraits de raisin et le témoin positif n'ont pas eu d'effet sur la stabilité membranaire des globules rouges à 21 jours d'âge.

ABSTRACT

The effects of three grape extracts on growth performance of broilers were compared to a negative (standard feed) and positive (standard feed supplemented with 100 ppm Vitamin E) control groups between 0 and 21 days of age. Compared to negative control, there was a significant effect of extracts 1 (Nor-Grape 80 Powder) and 2 (Nor-Grape 20 Liquid) (+ 4.6% and + 5.0 respectively) on live weight. The extract 3 and the positive control did not enhance the live weight. Osmotic resistance of the red globules cellular membrane has been evaluated through their susceptibility to NaCl. Compared to negative control, the grape extracts did not show any positive or negative effect on the resistance of cellular membrane, as well as vitamin E (positive control).

INTRODUCTION

Une première génération d'extraits végétaux a été commercialisée comme solutions alternatives aux additifs zootechniques classiques, suite à l'évolution de la réglementation (Community Register of Feed Additives, 2006). Une autre application intéressante de ces extraits est une utilisation dans le cadre de la prévention par rapport aux stress oxydatifs, en particulier dans l'alimentation des volailles. En effet, les phénomènes radicalaires sont omniprésents dans le monde animal et peuvent avoir des conséquences néfastes au niveau de la santé, des performances zootechniques et de la qualité des produits (Aurousseau, 2002). Les extraits de raisins, riches en polyphénols, contribuent à contrer ces attaques radicalaires grâce à leur activité antioxydante largement décrite (Pelli et Lyly, 2003). L'objet du présent travail est d'étudier l'incidence de l'incorporation de trois extraits de raisin dans l'aliment sur les performances de croissance du poulet de chair et la stabilité membranaire de ses globules rouges dans la phase de démarrage où le stress oxydatif est marqué.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Animaux

180 poussins mâles de souche Ross PM3, âgés de 1 jour et vaccinés BI au couvoir (couvoir BOYE) ont été élevés sur litière en 5 lots et bagués individuellement à l'aile au cours de la première semaine. Les animaux sont abattus à 21 jours d'âge à l'issue de l'essai.

1.2. Aliment

Les poussins ont reçu un aliment démarrage de J0 à J21 (EM : 3050 kcal, MAT : 22%, Lysine 1.2%, Vit E : 20 ppm). L'aliment et l'eau étaient distribués à volonté.

1.3. Lots expérimentaux

A J0, les poussins ont été répartis en 5 groupes : témoin négatif R1 (aliment standard), témoin positif R2 (aliment standard supplémenté avec 100 ppm de Vitamine E), et 3 groupes recevant chacun un extrait de raisin de nature différente, 10 ppm de Nor-Grape 80 Poudre (R3), 100 ppm de Nor-Grape 20 Liquide (R4) et 60 ppm de péricarpe de pépins micronisé et titré (R5). Pour ces trois extraits de raisins, les apports sont standardisés en procyanidines.

1.4. Enregistrements

A J21, les animaux ont été pesés individuellement et la consommation d'aliment a été mesurée par lot. Un échantillon de sang a été prélevé sur tube hépariné sur 6 animaux représentatifs de chaque

groupe, dans le but de tester la stabilité membranaire des hématies en observant la résistance osmotique de la membrane cellulaire des globules rouges (Leleu, 2004 ; Record et al., 1990). Le sang prélevé est centrifugé à 1500 rpm pendant 5 minutes. 10 µl du culot de globules rouges sont placés dans des tubes contenant 1000µl de solution saline (NaCl) à différentes concentrations : 6.5, 5.8, 5.6, 5.4, 5.2, 5.0, 4.6, 4.2, 3.8, 3.4, 3.0, 2.4, 2.0, 1.6, 1.2, 0.8, 0.4 et 0 g/l.

La lecture s'effectue par l'observation de la coloration de la solution saline et du culot d'hématies.

- début de lyse des hématies : solution légèrement rouge et culot d'hématies
- lyse totale des hématies : solution rouge sans culot d'hématies

1.5. Analyse statistique

Un test de Student de comparaison de moyennes a été effectué à l'aide du logiciel MINITAB sur l'ensemble des données.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats sont reportés dans le Tableau 1.

2.1. Efficacité zootechnique

A 21 jours il n'a pas été observé de différence significative entre les lots témoins négatif et positif sur le poids vif des animaux. Les extraits de raisin R3 et R4 ont permis une augmentation significative du poids vif à 21 jours (respectivement + 4.8 et + 5 %). L'extrait R5 n'a pas permis d'amélioration significative du poids vif à 21 jours.

2.2. Stabilité membranaire

A 21 jours il n'a pas été observé de différence significative entre les lots témoins négatif et les extraits de raisin R3, R4 et R5 et le témoin positif sur la stabilité membranaire des hématies. Ce test n'a pas permis de mettre en évidence une amélioration du statut en antioxydant. Cela peut s'expliquer par le fait que les animaux ne sont plus soumis à un stress oxydatif après trois semaines.

CONCLUSION

Ce travail a montré que certains extraits de raisin utilisés comme additifs dans l'alimentation du poulet de chair présentent un intérêt dans l'amélioration des performances zootechniques. Le test utilisé dans cette expérience n'a mis en évidence des différences de stabilité membranaire liées à la nature de l'extrait ou à la supplémentation en vitamine E. Des travaux complémentaires sont nécessaires pour confirmer ces résultats.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aurousseau B., 2002. INRA Prod. Anim, (15), 67-82.
- Community Register of Feed Additives, 2006. Pursuant to regulation (EC) No 1831/2003, 324 pp.
- Leleu C, 2004. Rapport de stage de fin d'étude, Esitpa, Rouen, 58 pp.
- Pelli K., Lyly M., 2003. « Les antioxydants dans l'alimentation », Rapport *VTT Viotechnology*, projet européen FLAIR FLOW EUROPE 4 : 28 pp.
- Record I., Mac Queen S., Dreosti I, 1990. Biol. Trace Elem. Res., (23) 467-473.

Tableau 1. Effets d'une incorporation d'extraits de raisin dans l'alimentation sur les performances de croissance du poulet et la stabilité membranaire de leurs hématies mises en présence d'une solution de NaCl à concentration décroissante (test d'hémolyse)

Traitement	Poids vif à J21 (g) n=36	Début d'hémolyse Concentration en NaCl (g/l) n=6	Fin d'hémolyse Concentration en NaCl (g/l) n=6
R1 : Témoin négatif	858 ± 94 b	4.53 ± 0.39	1.13 ± 0.73
R2 : Témoin positif	856 ± 94 b	4.40 ± 0.22	1.13 ± 0.47
R3 : Nor-Grape 80 Poudre	899 ± 98 a	4.67 ± 0.16	1.27 ± 0.16
R4 : Nor-Grape 20 Liquide	901 ± 89 a	4.40 ± 0.22	1.20 ± 0.51
R5 : Péricarpes de pépins micronisés et titrés	872 ± 83 ab	4.36 ± 0.22	2.60 ± 0.76

a, b : les valeurs portant les mêmes lettres ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 %.

EFFET DE LA PROTECTION D'ACTIFS VEGETAUX NATURELS (AEN™) SUR LES PERFORMANCES DE CROISSANCE ET LA MICROFLORE INTESTINALE DU POULET DE CHAIR

Recoquilly François, Medina Bertrand

PHYTOSYNTHESE, 63200 RIOM (France)

RÉSUMÉ

1050 poussins (souche Ross 308) ont été élevés pendant 7 semaines dans 42 parquets (2,04 m²) au sol (3 traitements x 2 sexes x 7 répétitions) contenant 25 poulets chacun. Trois régimes ont ainsi été comparés : un témoin négatif (CTL), un régime supplémenté en extraits végétaux naturels riches en terpènes (AEN™, 60 ppm de principes actifs) et un régime supplémenté avec les mêmes extraits végétaux micro encapsulés (AEN i-c@ps, 48 ppm de principes actifs). Les animaux ont reçu *ad libitum* un aliment démarrage (EM 3048 kcal/kg, MAT 22%, Lys 1,2%) de J0 à J14, un aliment croissance (EM 3089 kcal/kg, MAT 20%, Lys 1,1%) de J14 à J28, puis un aliment finition (EM 3141 kcal/kg, MAT 18%, Lys 0,9%). Des pesées collectives ont été réalisées à J14, à J28 et à J42. Les consommations sur ces périodes ont aussi été mesurées. A J28 et J43, des contenus caecaux ont été prélevés sur 1 animal par parquet afin d'analyser la diversité microbienne des contenus digestifs. Quels que soient la période et le paramètre considérés, il n'existe pas d'interaction significative entre le traitement et le sexe des poulets. Toutefois, les effets des traitements sont plus nets chez les mâles (résultats non présentés). Alors que les extraits végétaux non encapsulés montrent une tendance positive (NS) sur l'indice de consommation des animaux, les extraits végétaux micro encapsulés améliorent très significativement (P<0,01) la croissance des poulets jusqu'à 42 jours (+ 2,9% et + 2,1%, par rapport à CTL et AEN™, respectivement). La tendance d'un degré de similitude plus élevé des profils bactériens provenant des animaux recevant les extraits végétaux suggère une orientation différente de la flore digestive des caeca de ces animaux. L'approche intéressante que constitue la protection des actifs végétaux par des procédés de micro encapsulation permettrait d'assurer une meilleure efficacité des principes actifs.

ABSTRACT

1050 broiler chickens (Ross 308) were distributed on 42 floor-pens (2,04 m²) during 7 weeks (3 treatments x 2 sexes x 7 replicates) of 25 animals each. Three feed treatments were thus compared: a negative control (CTL), a diet supplemented with natural and terpenes based plant extracts (AEN™, 60 ppm of active principles) and a diet supplemented with the same plant extracts micro-capsulated (AEN i-c@ps, 48 ppm of active principles). Animals were fed *ad libitum* with a starter feed (EM 3048 kcal/kg, CP 22%, Lys 1.2%) from d0 to d14, with a grower one (EM 3089 kcal/kg, CP 20%, Lys 1.1%) from d14 to d28 and then with a finisher one (EM 3141 kcal/kg, CP 18%, Lys 0.9%). Animals were weighed per replicate at d14, d28 and d42. Consumption over these periods was also measured. At d28 and d43, digestive contents (cecum) were collected on 1 animal by floor-pen in order to analyze the diversity of the microbial profiles of the digestive tract. Whatever the period and the parameter considered, there is not significant interaction between the treatment and the sex of broilers. However, the effects of the treatments are more significant with males (results not presented). Whereas the plant extracts tend to optimise (NS) the feed conversion rate of birds, the micro capsulated ones very significantly improved (P<0,01) the growth of broilers up to 42 days [+2.9% and +2.1%, compared to CTL and AEN™, respectively]. The trend of a higher degree of similarity between the bacterial profiles coming from the animals receiving the plant extracts suggests a different orientation of the digestive flora of these animals. Preferential pairings of the intestinal contents collecting from the animals fed with the plant extracts suggest a faster and more complex establishment of the total colony count in the cecum of these animals. The interesting approach, that the protection of the plant extracts by processes of micro-capsulation constitutes, would permit to improve a better efficiency of the active ingredients.

INTRODUCTION

Avec la suppression des antibiotiques facteur de croissance en alimentation animale, les alternatives suscitent de plus en plus l'intérêt des nutritionnistes (Huyghebaert, 2003). L'utilisation d'extraits végétaux naturels en production avicole est encore récente. De nombreuses questions restent ainsi en suspens, en particulier, la palatabilité et la résistance des composés volatils vis-à-vis des procédés de fabrication des aliments, pouvant expliquer des effets limités de certains principes actifs, dans certaines conditions expérimentales (Barragan et al., 2004; Botsoglou et al., 2002). L'objectif de cette étude a donc été de comparer les versions native et protégée (Gascon et al., 1999; Shiga et al., 2004) de l'additif AENTM sur les performances de croissance de poulets de chair et d'évaluer leur impact sur la microflore digestive.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Schéma expérimental

L'étude a été réalisée avec des poulets de chair élevés au sol pendant 42 jours et dans des conditions de chargement moyen (12,5 poulets/m²). 1050 poussins d'un jour (Ross 308) ont été répartis en 42 parquets (2,04 m²) de 25 (mâles et femelles séparés). Trois lots expérimentaux ont été constitués : 1 lot témoin (CTL) recevant un aliment sans supplémentation ; 1 lot supplémenté avec 500 g/tonne de la préparation d'extraits végétaux naturels riches en terpènes (AEN₇₀₀) équivalente à 60 ppm de principes actifs dans l'aliment et 1 lot supplémenté avec 300 g/tonne de la même préparation d'extraits végétaux naturels protégés par micro encapsulation (AEN i-c@ps) équivalente à 48 ppm de principes actifs dans l'aliment. Les animaux ont été répartis en fonction de leur poids vif selon un dispositif expérimental en blocs aléatoires homogènes (7 parquets de mâles et de femelles / traitement).

1.2. Conduite et plan d'alimentation

La température est fixée à 32°C (±0,5°C) au début de l'essai puis ramenée progressivement à 20°C environ à la fin de l'essai. Les parquets sont équipés chacun d'un abreuvoir à niveau constant et d'un nourrisseur. Le programme lumineux utilisé pendant tout l'essai est composé de 23 h de lumière et 1h d'obscurité. Les animaux sont nourris *ad libitum* avec un aliment démarrage (EM 3048 kcal/kg, MAT 22%, Lys 1,2%) de J0 à J14, un aliment croissance (EM 3089 kcal/kg, MAT 20%, Lys 1,1%) de J14 à J28 puis un aliment finition (EM 3141 kcal/kg, MAT 18%, Lys 0,9%).

1.3. Paramètres mesurés

Les poids vifs (pesée collective par parquet) sont

mesurés, sans mise à jeun, à J14, J28 et J42. Les consommations d'aliment sont aussi mesurées sur ces périodes. Au cours des 72 premières heures, les animaux morts et/ou moribonds sont retirés et remplacés par des poussins alimentés avec le même régime expérimental. Au delà, ces animaux sont simplement retirés de l'expérience. Le poids des morts ainsi que la quantité d'aliment restant sont mesurés afin de calculer les consommations et les indices de consommation.

A J28 et en fin d'essai, un poulet par parquet est euthanasié par administration de pentobarbital pour prélever le contenu caecal, soit 7 animaux par traitement et par sexe. Les contenus digestifs sont regroupés par traitement et par sexe, puis congelés. L'analyse de la diversité des bactéries majoritaires est réalisée selon une technique de séparation électrophorétique des molécules d'ADN bactérien après amplification par PCR avec une amorce universelle sur un gel d'acrylamide contenant un gradient de 30 à 55 % d'agent dénaturant (formamide + urée) (Denaturing Gradient Gel Electrophoresis) (Walter et al, 2000). La similitude des profils bactériens des contenus intestinaux est calculée en tenant compte de la position des bandes d'ADN bactérien (tolérance de ± 1%) à l'aide du coefficient Dice et de l'algorithme UPGMA (Unweight Pair Group Method with Arithmetic mean) puis présentée sous forme d'un dendrogramme.

1.4. Analyse statistique

L'ensemble des variables zootechniques est soumis à une analyse de variance - procédure ANCOVA du logiciel Staviw. Le modèle utilisé prend en compte les effets simples relatifs au traitement, au sexe ainsi que l'interaction traitement x sexe.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Paramètres zootechniques (Tableau 1)

Quels que soient la période et le paramètre considérés, il n'existe pas d'interaction significative entre le traitement et le sexe des poulets. Toutefois, les effets des traitements sont plus nets chez les mâles (résultats non présentés). L'absence de différence significative entre les performances de croissance des poulets recevant l'aliment supplémenté avec 500 g/tonne d'AEN₇₀₀ et celles du lot CTL est en accord avec de précédents résultats (Juin et Recoquilly, 2005) et pourrait être due comme le proposent ces auteurs aux bonnes conditions d'élevage utilisées dans ces expérimentations en station expérimentale ne permettant pas de montrer d'effet des extraits végétaux (Vila et al., 2004). Cependant, les calculs d'indice de consommation montrent une tendance positive de l'additif AEN₇₀₀ et ce quelle que soit la période étudiée. Ce résultat est à associer à une

différence comportement alimentaire caractérisée par une baisse puis une augmentation d'ingestion non significative entre 14 et 28 jours et de 28 à 42 jours, respectivement entre les animaux du groupe AEN₇₀₀ et ceux du groupe CTL.

La croissance sur toute la période d'élevage des poulets recevant les extraits végétaux sous forme protégée est très significativement ($P < 0,003$) améliorée par rapport à celles des deux autres groupes (+ 2,9 et + 2,1 % au cours de la période J0-42, par rapport aux lots CTL et AEN₇₀₀ respectivement). Ce résultat trouve son explication, d'une part, dans l'augmentation d'ingestion observée globalement tout au long de l'essai - hausse significative ($p < 0,10$) au cours de la période J0-14 et d'autre part dans la réduction de l'écart-type de la consommation calculé sur la période globale (67,48 ; 58,44 et 57,22 ; pour les lots CTL, AEN₇₀₀ et AEN i-c@ps, respectivement).

2.2. Profil microbien (Figure 1)

Le dendrogramme montre une nette séparation des profils selon l'âge des animaux confirmant l'évolution de la composition de la flore digestive du poulet en fonction son l'âge (Lu et al., 2003) L'analyse du dendrogramme ne permet pas d'identifier clairement des groupes en fonction des traitements ou du sexe des animaux. Cependant, quelle que soit la date de prélèvement, les empreintes génétiques bactériennes des contenus caecaux provenant des animaux recevant les extraits végétaux sous forme native ou protégée ont tendance à avoir des degrés de similitude plus importants entre elles qu'avec celles du lot témoin. Ces appariements préférentiels suggèreraient une orientation différente de la flore bactérienne dans le cas de la supplémentation en extraits végétaux. Le clonage et le séquençage ultérieurs des molécules d'ADN dominantes en migration sur le gel, nous permettront d'identifier ces souches bactériennes.

CONCLUSION ET IMPLICATIONS

Conformément aux récents travaux réalisés par Juin et al (2007), la protection des actifs végétaux selon la technique i-c@psTM de micro encapsulation (Gascon et al., 1999; Shiga et al., 2004) aurait un effet bénéfique sur la consommation chez l'animal jeune, cette consommation se régularisant ensuite pendant la croissance. D'autre part, l'analyse des gains de poids des poulets au cours de la période J0-42, rapportée à la quantité de principes actifs ajoutés (48 vs 60 ppm pour AEN i-c@ps et AENTM, respectivement) illustre une augmentation significative de l'efficacité (ratio : 5/1) des principes actifs naturels par la technique i-c@psTM. Plusieurs hypothèses peuvent être émises pour expliquer cette amélioration d'efficacité des extraits végétaux : stabilisation des principes actifs au cours du procédé de fabrication des aliments, diminution

d'éventuelles interactions avec la matrice complexe de l'aliment, amélioration de la disponibilité des principes actifs au niveau du tractus digestif (effets vis-à-vis de la microflore et des sécrétions digestives) (Dorman et Deans, 2000; Burt, 2004; Lee et al., 2004).

Les extraits végétaux dont l'utilisation se développe depuis plusieurs années semblent pouvoir être une des voies alternatives aux antibiotiques facteurs de croissance. L'approche intéressante que constitue leur protection par des procédés de micro-encapsulation permet une plus grande efficacité des actifs végétaux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

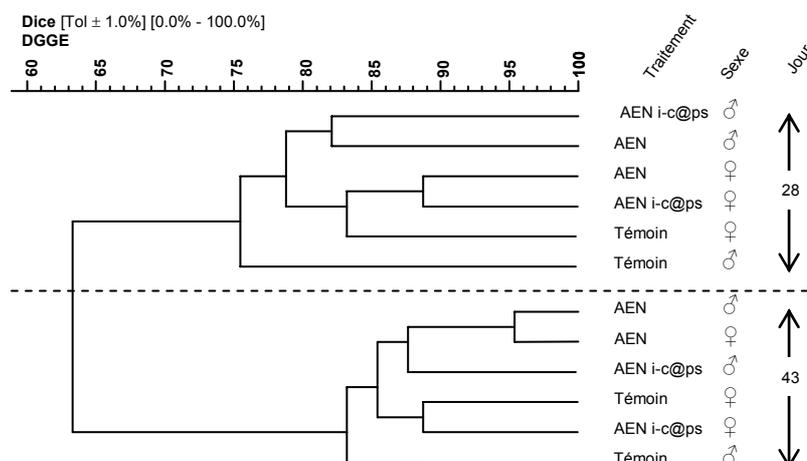
- Barragan J.I., Cepero R., Zalduendo D., Sanz J.L., Losa R., 2004. XLI Symposium Cientifico de Avicultura (WPSA), Barcelona, Spain, 171-179.
- Botsoglou N.A., Florou-Paneri P., Christaki E., Fletouris D.J., Spais A.B., 2002. Brit. Poult. Sci., 43, 223-230.
- Burt S., 2004. Inter. Jour. of Food Microbiol., 94, 223-253.
- Dorman, H.J.D., Deans S.G., 2000. Jour. of Appl. Microbiol., 88(2), 308-316.
- Gascon A.D., Zuritz C.A., Bustamante J.A., de Borbon L., Oberti G., 1999. Acta Hortoculturæ., 503, 53-58.
- Huyghebaert G., 2003. Eastern Nutrition Conference 8-9 may, Quebec, Canada, 55-78.
- Juin H., Recoquillay F., 2005. 6^{èmes} JRA, St Malo, France, 197-200.
- Juin H., Naciri M., Vila B., Calafat F., Recoquillay F., Medina B., 2007. 7^{èmes} JRA (accepté).
- Lee K.W., Everts H., Beynen A.C., 2004. Inter. Jour. Poult. Sci., 3(12), 738-752.
- Lu, J., Idris U., Harmon B., Hofacre C., Maurer J., Lee M.D., 2003. Appl. Environ. Microbiol., 69, 6816-6824.
- Shiga H., Yoshii H., Ohe H., Yasuda M., Furuta T., Kuwahara H., Ohkawara M., Linko P., 2004. Biosci. Biotechnol. Biochem., 68(1), 66-71.
- Vila B., Fontgibell A., Picaud T., Peris S., Recoquillay F., Calafat F., 2004. XLI symposium Cientifico de Avicultura (WPSA), Barcelona, Spain, 145-149.
- Walter J., Tannock G.W., Tilsala-Timisjarvi A., Rodtong S., Loach D.M., Munro K., Alatosava T., 2000. Appl. Environ. Microbiol., 66, 297-303.

Tableau 1. Performances zootechniques des poulets de chair en fonction des traitements et des périodes d'élevage*

	CTL (n = 14)	AEN (n = 14)	AEN i-c@ps (n = 14)	ETM	Effet Traitement	Effet sexe	Effet Trait x Sexe
Démarrage J0-14							
Poids vifs à J14 (g)	373 ^c	372 ^c	386 ^d	5,64	0,042	0,0001	NS
Gain de poids (g)	329 ^c	328 ^c	341 ^d	5,65	0,042	0,0001	NS
Consommation (g)	464 ^a	461 ^a	478 ^b	6,32	0,0858	0,0032	NS
Indice de consommation	1,412	1,409	1,412	0,014	NS	0,0013	NS
Croissance J14-28							
Poids vifs à J28 (g)	1461 ^a	1454 ^a	1492 ^b	14,99	0,0675	0,0001	NS
Gain de poids (g)	1087	1081	1106	16,62	NS	0,0001	NS
Consommation (g)	1610	1580	1647	20,62	0,0192	0,0001	NS
Indice de consommation	1,482	1,462	1,491	0,012	NS	0,0173	NS
Finition J28-42							
Poids vifs à J42 (g)	2812 ^c	2832 ^c	2892 ^f	49,23	0,003	0,0001	NS
Gain de poids (g)	1348	1379	1400	39,71	0,0779	0,0001	NS
Consommation (g)	2589	2625	2676	43,67	0,0314	0,0001	NS
Indice de consommation	1,925	1,913	1,921	0,032	NS	0,0001	NS
Période globale J0-42							
Gain de poids (g)	2768 ^c	2788 ^c	2847 ^f	49,23	0,003	0,0001	NS
Consommation (g)	4672	4666	4800	60,94	0,0259	0,0001	NS
Indice de consommation	1,689	1,675	1,689	0,14	NS	0,0001	NS

* Sur une même ligne les valeurs suivies de lettres différentes sont significativement distinctes ^{a, b} p<0,10 ; ^{c, d} p<0,05 ; ^{e, f} p<0,01

Figure 1. Dendrogramme représentant les similarités entre les profils de la flore majoritaire des contenus digestifs (caeca) en fonction de l'âge, du sexe et du traitement alimentaire (Témoin ; AEN : extraits végétaux non encapsulés ; AEN ic@ps : extraits végétaux micro encapsulés)



**L'HYDROXY-ANALOGUE LIQUIDE DE LA METHIONINE :
BIEN PLUS QU'UN ACIDE AMINE !**

Mercier Yves, Geraert Pierre-André

ADISSEO France S.A.S., Rue Marcel Lingot, 03600 Commentry

RÉSUMÉ

L'objectif du travail proposé est de comparer les effets antibactériens de l'hydroxy-analogue liquide de la méthionine (HMTBA) par rapport à différents acides organiques couramment utilisés en alimentation animale. L'étude réalisée *in vitro* dans le système APES sur flore iléale de poulet de chairs âgés de 35 jours a permis de mettre en évidence les activités relatives des différents produits testés. Les résultats obtenus montrent des effets antibactériens significatifs de l'HMTBA et des acides Formique, Fumarique et Butyrique sur la flore iléale. Il apparaît également que la substitution de la moitié des différents acides organiques par la même quantité d'HMTBA permet un effet antibactérien équivalent à celui de l'acide seul. La comparaison des différents paramètres d'activité de la flore iléale semble également indiquer des modes de fonctionnement différent et complémentaires entre HMTBA et les acides organiques testés. Ainsi, au vu des différents mécanismes mis en jeu dans l'effet antibactérien des acides organiques il est raisonnable de penser que la multiplication des sources d'acidifiants dans l'aliment constitue une solution à l'élargissement du spectre antibactérien permettant un meilleur contrôle de la flore. Enfin, d'un point de vue pratique cette étude fait ressortir la possibilité de substituer une partie des acides organiques usuels dans les aliments volaille par l'utilisation du HMTBA comme source de méthionine.

ABSTRACT

The objective of this work is to compare the antibacterial effect of methionine Hydroxy analogue (HMTBA) and current feed organic acids. The *in vitro* study done with the "APES" apparatus on 35 day old broilers ileal microflora, allows determining the relative activities of the different products tested. The results obtained on the total microflora demonstrate a significant ($p < 0,05$) antibacterial effect of HMTBA, Formic acid, Fumaric acid and Butyric acid on ileal flora compared to control. It also appears possible to replace half of the organic acid by HMTBA while maintaining the antimicrobial potential. Moreover, the results obtained on the observed parameters seem to indicate different and complementary action modes of HMTBA and the tested organic acids. Considering the multiple parameters involved in the antibacterial mechanisms of organic acids, enlarging the sources of acidifiers in poultry diet appears as the best alternative to broaden the antibacterial spectrum activity and thus to allow a better gut microflora control. Finally, this study highlights the practical benefits of using hydroxy-analogue of methionine as the methionine source in feeds to save dietary organic acid supply.

INTRODUCTION

L'interdiction d'utiliser les antibiotiques comme facteur de croissance (AFC) en alimentation animale en Europe a entraînée l'apparition de nombreuses alternatives nutritionnelles pour tenter de réguler la microflore chez les animaux d'élevage. Parmi les diverses solutions proposées l'utilisation d'acides organiques comme éléments de régulation de la flore endogène des monogastriques apparaît certainement comme la solution la plus répandue. Les mécanismes et sites d'actions des acides organiques en font certainement une des solutions actuelles les plus performantes tant d'un point de vue économique que du point de vue des résultats obtenus.

Par ailleurs, la méthionine qui représente le premier acide aminé limitant chez la volaille est systématiquement ajoutée sous forme synthétique dans les formules pour assurer un apport optimal. L'originalité de cet acide aminé est qu'il est disponible sur le marché sous une forme d'hydroxy-acide : le HMTBA (Acide 2-Hydroxy-4-Methyl-Thio-Butanoïque). Cette molécule qui représente une source de méthionine à part entière, offre également l'avantage sous sa forme native de présenter les caractéristiques chimiques d'un acide organique.

Ainsi, le présent article propose de comparer les effets antibactériens de l'hydroxy-analogue liquide de la méthionine à celui d'acides organiques usuels sur la flore totale du poulet de chair.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Prélèvement des contenus digestifs

50 poulets de chair de lignée Ross PM3 sont élevés sur une période de 0-35 jours sur un régime standard maïs-soja complétement en méthionine avec de la DL-méthionine. A 35 jours les animaux sont euthanasiés par injection intracardiaque de bentobarbital. La partie iléale de l'intestin est prélevée dans les minutes qui suivent la mort de l'animal. Les extrémités de l'iléon sont clampées à deux centimètres sous le diverticule de Meckel et environ 5 centimètres de la jonction iléo-caecale avant d'être coupées. La partie de l'iléon est alors désinfectée rapidement à l'alcool sur la partie externe pour éviter les contaminations par les micro-organismes extérieurs. L'iléon clampé est alors introduit dans une boîte à gants sous flux de CO₂ permettant de maintenir une atmosphère anaérobie. Les contenus iléaux sont collectés et maintenus à 4°C sur lit de glace durant toute la collecte. Les échantillons de contenus digestif sont alors aliquotés puis conservés à -20°C jusqu'à l'essai *in vitro*.

1.2. Fermentation in vitro avec le système APES

La méthode de fermentation *in vitro* à l'aide du système APES (Automated Pressure Evaluation System) sur contenu intestinal de monogastriques découle de celle décrite par Bauer en 2002. Pour l'essai un inoculum est préparé à partir du contenu iléal dilué au 1/3 grâce à une solution physiologique stérile, préalablement préchauffée à 39°C. La dilution est réalisée en conditions anaérobies. Une fois cette étape réalisée, l'ensemble est filtré sur une toile bultex à 300 µm de diamètre. L'inoculum alors prêt est conservé sous flux de CO₂. Les items d'essai sont introduits dans les bouteilles APES avant l'apport des différents tampons comme décrit dans le tableau 1. Le pH du milieu réactionnel est maintenu à un pH proche de la neutralité en début d'essai (6,8) pour finir aux alentours de 5,8 après 72 heures. Les quantités des différents items sont apportées directement dans la bouteille APES en considérant un apport équivalent à 3 ou 1,5 kg de produit par tonne d'aliment (Tableau1). Les dilutions effectuées pour chacun des produits apportée prennent en compte la dilution intestinale sur la base d'une consommation Aliment : Eau, de 1 : 2 en masse. Les items d'essai testés dans cette étude sont le HMTBA (Rhodimet™ AT88), l'acide formique (Formi.) ; l'acide Butyrique (Buty.) et Fumarique (Fuma.) (Aldrich). L'inoculum est apporté dans chaque bouteille au moment du lancement du run. L'acquisition des données de fermentation commence au moment de l'introduction de l'inoculum jusqu'à la fin du run 72 heures plus tard. .

1.3. Analyse des résultats de fermentation

La production de gaz est suivie en continu durant les 72 heures du run. Les courbes de dégagement gazeux obtenues sont alors modélisées en utilisant le model de Groot (1996) permettant de dégager 2 paramètres de la cinétique de fermentation pour la comparaison statistique des différents traitements.

$$Y=A / (1+(C/t)^B)$$

Model de Groot

Les deux paramètres obtenus à partir du modèle sigmoïde sont l'asymptote (A) qui correspond à la quantité finale de gaz produite durant la fermentation en mL et le Trm (Time for maximum rate) qui correspond au temps d'atteinte du maximum de production de gaz. Ce paramètre peut plus simplement être assimilé à une mesure du temps de latence. Ainsi, les effets antibactériens des différents traitements sont comparés sur leur efficacité à diminuer la production globale de gaz (A) et/ou à allonger le temps d'atteinte de la production maximale de gaz (Trm). La

comparaison statistique des courbes est réalisée par une analyse de variance sur ces deux paramètres avec le logiciel Statview (Abacus Concepts, 1996) selon le modèle suivant :

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

Y_{ij} le paramètre du dégagement gazeux (A, Trm)

μ la moyenne générale

α_i l'effet traitement i ($i = 1, \dots, t$)

ε_{ij} le résidu ($j = 1, \dots, n$)

2. RESULTATS ET DISCUSSION

La figure 1 présente les résultats obtenus pour le volume final de dégagement gazeux avec les différents traitements au bout des 72 heures de fermentation. La moyenne de dégagement gazeux obtenue sans traitement (témoin) est d'environ 660 ml. L'application des différents traitements *in vitro* entraîne une diminution significative ($p < 0,05$) du volume de gaz produit durant la fermentation d'environ 10 %. La diminution de production de gaz obtenue avec l'apport d'HMTBA n'est pas différente de celle obtenue avec les différents acides organiques utilisés à la concentration de 3kg/tonne d'aliment. Par ailleurs, les différentes associations HMTBA + acides organiques présentent des valeurs d'abaissement de la production de gaz non différentes de celles obtenues avec les acides organiques apportés seuls. Bien que les différences ne soient pas significatives, une tendance numérique est observée montrant un effet plus marqué de l'acide fumarique sur l'abaissement de la production totale de gaz. Cette tendance est observée aussi bien avec l'acide seul que lorsqu'il est utilisé en association avec l'HMTBA.

Les résultats obtenus sur la valeur de Trm montrent des résultats sensiblement différents de ceux observés sur le volume de gaz produit. Bien que tous les traitements, HMTBA, acides organiques et mélange HMTBA + Acides organiques entraînent une augmentation significative du Trm par rapport au traitement témoin, il apparaît des différences significatives entre les traitements sur ce paramètre. L'HMTBA entraîne un allongement du Trm significativement supérieure à celui obtenu avec chacun des différents acides organiques. Ces résultats tendent à montrer un effet plus précoce du HMTBA que des autres acides organiques. Il apparaît également une différence significative entre acides organiques sur ce paramètre. L'effet de l'acide formique sur l'allongement du Trm apparaît significativement plus important que celui des acides Fumarique et Butyrique. L'allongement du Trm obtenu avec les différents mélanges HMTBA + acides organiques entraîne une augmentation significative du Trm par rapport à l'effet obtenu avec les acides organiques seuls.

Ces résultats montrent que la présence simultanée des acides organiques et du HMTBA permet d'améliorer significativement l'action court terme des acides organiques (Trm) sans dégrader de manière significative l'action sur l'activité globale.

Les résultats obtenus dans la présente étude *in vitro* sont en accord avec ceux obtenus dans une précédente étude sur la diminution de l'activité de la flore de poulet de 21 jours par un apport de HMTBA alimentaire (Mercier et al., 2005). Par ailleurs, si les essais tant *in vitro* (Strauss et Hayler 2001) que *in vivo* (Partanen, 2001) sur l'effet antibactérien des acides organiques existent, il convient de noter qu'à notre connaissance ce essai est le premier qui compare HMTBA et Acides organiques sur flore totale. De plus, l'effet de l'HMTBA sur bactéries isolées a montré, un effet spécifique du HMTBA sur *Campylobacter jejuni* avec une valeur de concentration minimum bactéricide inférieure à 0,036 % (Geraert et al. 2005). Cet effet bactéricide sur *Campylobacter jejuni* a d'ailleurs été récemment confirmé *in vivo* (résultats en cours de publication).

La pénétration des acides organiques dans les bactéries est sous la dépendance du pH du milieu et du pKa de l'acide organique. En effet lorsque le pH du milieu est inférieur au pKa de l'acide comme c'est le cas au niveau du pro ventricule et du gésier l'équilibre de dissociation de l'acide tend vers la forme associée selon l'équation suivante :



Sous sa forme associée l'acide organique à la possibilité de traverser les membranes bactériennes. Dans notre étude, bien que le pH du milieu de fermentation, maintenu entre 6,8 et 5,8, ne soit pas favorable au déplacement de la réaction vers la forme associée, l'effet antibactérien des acides organiques est observé. Ceci indique que l'activité des acides organiques et du HMTBA peuvent également se prolonger au niveau duodéal et jejunal où le pH varie de 5,7 à 6,5 (Franer, 1942) Par ailleurs, si les bactéries gram négatif sont exclusivement sensibles aux acides dont la chaîne carbonée est inférieure à huit carbones, les bactéries gram positif sont d'autant plus sensibles que la chaîne carbonée de l'acide est longue ceci améliorant sa lipophilie (Cherrington et al., 1991). Avec cinq carbones le HMTBA semble donc apporter un compromis intéressant pour une action mixte. Ainsi, dans notre étude, l'effet significativement plus élevé du HMTBA par rapport aux autres acides organiques sur le paramètre Trm pourrait s'expliquer par une large majorité de bactéries Gram positif présente au niveau intestinal chez le poulet (Lu et al., 2003). Par ailleurs, Le mécanisme d'action des acides

organiques apparaît sensiblement différent selon le type de bactéries considérées : acido-sensibles ou acido-tolérantes (Lück, 1986, Cherrington et al., 1991, Russel, 1992, Russel et al., 1998). Ainsi, dans le cas des bactéries acido-sensibles, les protons sont évacués vers le milieu extérieur par une pompe échangeuse d'ions (H⁺/Anion). On assiste alors à une accumulation d'anions intracellulaires qui perturbent la synthèse protéique et la duplication de l'ADN de la bactérie. Chez les bactéries acido-tolérantes les protons s'accumulent dans le cytoplasme et entraînent une chute de pH qui inhibe la glycolyse et les transports actifs. Ainsi, les différences de mode d'action tout comme les spécificités propres à la fois des bactéries et des acides organiques, incluant le HMTBA, semblent indiquer un potentiel non négligeable sur la complémentarité des sources d'acidifiants pour l'élargissement du spectre bactéricide et ainsi une optimisation du contrôle de la flore.

D'un point de vue plus pratique, il ressort également de cette étude que l'utilisation du HMTBA comme source de méthionine à la place de la DL-méthionine permet de substituer une partie équivalente en point d'acide organique de l'aliment. Les suppléments usuels en méthionine chez le poulet en croissance et finition sont respectivement de l'ordre de 2-2,2 kg/ton et 1,3 à 1,5 kg/tonne d'aliment. Par ailleurs, les niveaux d'apport en acides organiques sont de l'ordre de 3,5 à 4,5 kg /tonne. Ainsi, tout en optimisant l'effet de régulation de la flore, l'utilisation du HMTBA comme source de méthionine dans l'aliment pourrait permettre de diminuer de moitié l'apport en acides organiques dans l'aliment.

CONCLUSION

La présente étude a permis de démontrer in vitro que le potentiel antibactérien de l'hydroxy-analogue liquide de la méthionine sur la flore globale du poulet de chair est comparable à celui obtenu avec différents acides organiques couramment utilisés en alimentation animale. Il ressort également des différentes études recensées dans la bibliographie que la multiplicité des effets et mécanismes impliqués dans l'effet antibactérien des acides organiques et de l'HMTBA suggère qu'un élargissement du spectre de l'activité antibactérienne peut être obtenu par la diversification des sources acidifiantes. Enfin, d'un point de vue pratique, l'utilisation du HMTBA comme source de méthionine dans l'aliment pourrait permettre une économie d'environ la moitié des acides organiques utilisés.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Cherrington, C.A., Hinton, M., M., Mead, G.C., Chopra, I. (1991) Adv. in Microbial Physiol. 32, 87-108
- Franer, D.S. 1942 poult. Sci. 21 : 445-450
- Geraert, P.A. ; Graulet, B. ; Mercier, Y. ; Becker, P.M. & Van der Kliss, J.D. Worldwide ban on the horizon? 31 jan.- 1 Feb, the Netherlands 93.
- Groot J.C.J., J.W. Cone, B.A. Williams, F.M.A. Debersaques, E.A. Lantinga. 1996. Anim. Feed Sci. & Technol. 64, 77-89.
- Lu, J. ; Idris, U. ; Harmon, B. ; Hofacre, C. ; Maurer, J. ; Lee, M.D. (2003) Appl. & Environ. Microbiol. 69 : 6818-6824.
- Lück, E. (1986): Chemische Lebensmittelkonservierung. Stoffe, Wirkungen, Methoden. Springer-Verlag, Heidelberg
- Mercier, Y. ; Becker, P.M ; Van der Kliss, J.D. ; Geraert, P.A. 15th European Symposium on Poultry Nutrition. Balatonfüred, Hungary, 25-29 september 2005
- Partanen, K. (2001): in Piva, A., Bach-Knudsen, K.E. and Lindberg, J.E. (Ed.) Gut environments of pigs. Nottingham University Press, pp. 201-217
- Russel, J.B. (1992): J. Appl. Bact. 73, 363-370
- Russel, J.B., Diez-Gonzales, F. (1998) Microbial Physiol. 39, 205-234
- Strauss, G., Hayler, R. (2001): Feed magazine 4, 147-152

Tableau 1. Schéma expérimental

Traitements	Témoin	HMTBA	Formi	Buty	Fuma	HMTBA + Formi	HMTBA + Buty	HMTBA + Fuma
AT88 (Kg/ton.)	0	3	-	-	-	1,5	1,5	1,5
Formi (Kg/ton.)	0	-	3	-	-	1,5	-	-
Buty (Kg/Ton.)	0	-	-	3	-	-	1,5	-
Fuma (Kg/ton)	0	-	-	-	3	-	-	1,5
Nb de répétitions	4	4	4	4	4	4	4	4

Les valeurs d'apport des différents items correspondent à une équivalence exprimée kg par tonnes.

Figure 1. Evolution du volume final de production de gaz en fonction des traitements *in vitro*. Moyenne \pm écart type. Les traitements pour lesquels les lettres en indice sont différentes montrent des effets significativement différents ($p < 0,05$).

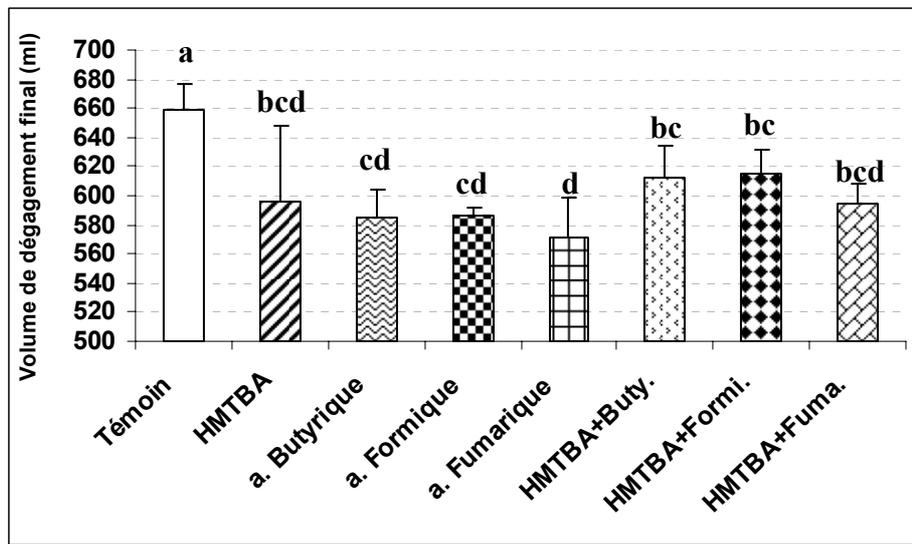
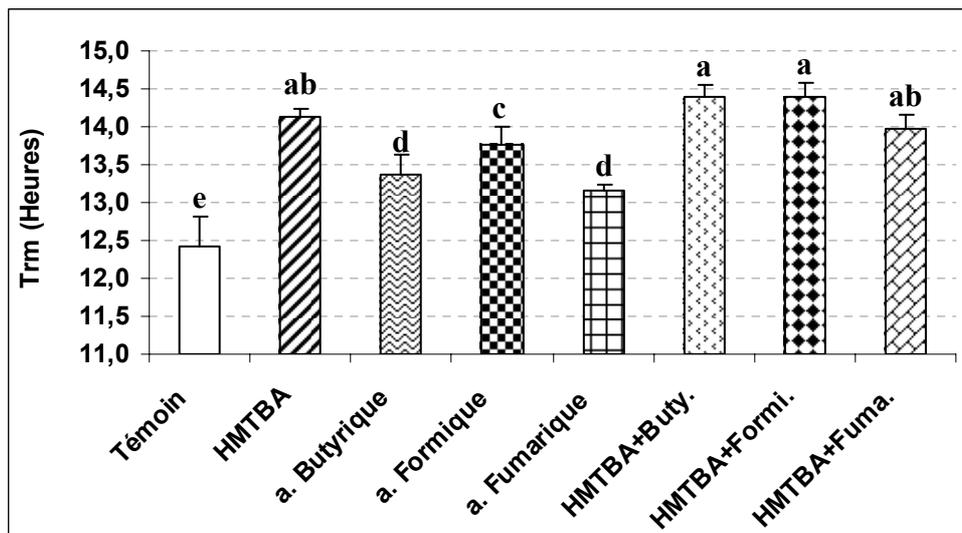


Figure 2. Evolution du Trm en fonction des traitements *in vitro*. Moyenne \pm écart type. Les traitements pour lesquels les lettres en indice sont différentes, ont des effets différents au seuil $p < 0,05$.



VARIABILITE INDIVIDUELLE DE LA FLORE DIGESTIVE DU POULET OBSERVEE PAR EMPREINTE MOLECULAIRE

Gabriel Irène¹, Leconte Maryse¹, Guillon Julie², Rideaud Patricia², Moreau-Vauzelle Carole², Dupont Christel²

¹ INRA UR83 Recherches Avicoles 37380 NOUZILLY, ² INRA Unité d'Elevage Alternatif et Santé des Monogastrique, Le Magneraud Saint-Pierre-d'Amilly, 17700 SURGERES

RÉSUMÉ

Suite à la suppression des antibiotiques facteurs de croissance, la connaissance et la maîtrise de la flore digestive sont devenues un enjeu pour l'alimentation animale. Cette flore digestive présente en général une variabilité individuelle, qui chez les volailles de chair, pourrait être plus faible du fait de la forte pression exercée par la génétique.

Au cours de ce travail, nous avons étudié cette variabilité individuelle en fonction de l'alimentation, à différents âges. Des poulets (Ross), élevés en cage, ont reçu à partir de 11 jours, un aliment contrôle contenant du blé sous forme soit broyée (C), soit en graines entières présentées en libre choix (GE). Chaque semaine, de 16 à 44 jours, 6 animaux par régime ont été abattus pour prélever leurs contenus caecaux dont la flore majoritaire a été analysée par une technique d'empreinte moléculaire (Temporal Temperature Gradient gel Electrophoresis).

Les profils bactériens de chaque animal se sont avérés différents traduisant une flore digestive propre à chaque individu. A certains âges, le régime peut entraîner des différences de cette variabilité individuelle. Ainsi, à 23 j, les différences entre individus apparaissent plus importantes avec le régime GE par rapport au régime C (coefficient de similarité de Pearson CS de 94.5 et 96.4% respectivement), ce qui pourrait être due aux proportions variables de graines ingérées selon les individus dans le cas du régime GE (12-31%). Cependant à 37 et 44 j, le phénomène s'inverse. Les animaux du régime GE présentent une plus forte similarité que ceux du régime C (CS de 96.3 et 94.4% à 37 j et 94.0 et 90.9% à 44 j pour les régimes GE et C respectivement), alors que la variation de proportions de graines consommées par les différents individus est toujours importante (32-54% de 29 à 36 j et 42-56% de 36 à 43 j). Le blé présenté sous forme de graines entières conduirait à une plus grande homogénéité de la flore entre individus au bout de 4 semaines de consommation, malgré la variation de proportions de graines consommées par les animaux. Malgré l'augmentation de l'homogénéité des animaux par la sélection génétique, la flore digestive des poulets de chair présente une variabilité individuelle, modifiable par l'alimentation. Cette variabilité doit être prise en compte pour l'étude des facteurs de variation de la flore.

ABSTRACT

Subsequently to the withdrawal of antibiotic growth promotants, the knowledge and control of the microflora of the digestive tract become stakes for animal feeding. It has been show that digestive bacterial community varies according to individual. In broiler, this variability may be lower due to high genetic selection.

In this work, individual variability was studied according to diet and at various ages. Ross chickens, raised in wire-floored cages, were fed from 11 d of age with a diet composed of wheat either ground (G) or in whole grains (W) given in free choice feeding. Every week, from 16 to 44 d, 6 birds per diet were killed to take their caecal content whose predominant bacterial population was characterized by using a molecular fingerprinting method. Gel profiles show differences between each individual. At some ages, inter-individual variability may differ according to diet. At 23 d of age, inter-individual differences appeared higher with W diet than with G diet (Pearson similarity coefficient SC: 94.5 and 96.4% respectively) that may be due to various whole wheat intake depending to individuals with the W diet (12 to 31%). However at 37 and 44 d, the reverse was observed. W-fed birds showed a higher similarity of microflora than G-fed birds (SC: 96.3 and 94.4% at 37 d and 94.0 et 90.9% at 44 d for W and C diet respectively), whereas inter-individual difference in whole wheat intake for W-fed birds was still high (32 to 54% from 29 to 36 d and 42 to 56% from 36 to 43 d). Whole wheat seemed to led to higher microflora homogeneity between birds after 4 week feeding, although various inter-individual whole wheat intake. Although increased animal homogeneity by genetic selection, the digestive microflora of broilers show a inter-individual variability that can be modified by diet. This variability must be taken into account to study factors influencing microflora.

INTRODUCTION

Jusqu'à ces dernières années, la flore digestive des animaux d'élevage était contrôlée par l'utilisation d'antibiotiques facteurs de croissance. Suite à leur interdiction, une meilleure connaissance de cette flore est devenue nécessaire pour permettre le développement d'alternatives, tels que des pré ou des probiotiques. La plupart des études de la flore digestive, en particulier chez les oiseaux, ont été effectuées à l'aide de méthodes microbiologiques conventionnelles, par culture sur des milieux sélectifs. Or une proportion très importante de bactéries, jusqu'à 90% selon les estimations, n'est pas cultivable (Lan et al., 2002). Les méthodes de cultures conventionnelles n'apportent donc qu'une image très partielle de l'écosystème digestif. Pour résoudre ce problème, des méthodes de biologie moléculaire, indépendantes des conditions de viabilité des bactéries, ont été développées. Ces méthodes, ont montré qu'il existe une variabilité individuelle de la flore digestive aussi bien chez l'homme (Zoetendal et al., 1998) que chez les animaux domestiques comme le porc (Simpson et al., 2000). Cette variabilité pourrait être à l'origine d'un effet variable des alternatives aux antibiotiques selon les individus (Ohashi et al., 2004). En aviculture, les pressions exercées par la génétique pourraient laisser penser à de moindres variations de cette flore, notamment en volaille de chair. L'objectif du présent travail est d'étudier cette variabilité individuelle à différents âges. De plus l'effet de l'alimentation a été étudié.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Aliment et animaux

Des poulets (Ross, mâles) sont élevés en cages dans des cellules thermostatées. A l'arrivée, les poussins d'un jour (430 animaux, 4 à 5 animaux / cage) reçoivent un aliment contrôle (C) démarrage. Il contient 40 % de blé, du soja, du maïs, de la méthionine, des minéraux et des vitamines. Il est présenté sous forme de farine et ne contient ni facteurs de croissance ni anticoccidiens. A 8 jours, les animaux de poids extrême sont éliminés (32%) pour homogénéiser le poids des animaux restant. Les poulets conservés sont séparés en deux groupes de poids moyen similaire (3 animaux / cage). Un groupe continue à recevoir le régime démarrage C, l'autre reçoit un régime démarrage contenant des graines entières (GE). Il est similaire au régime C mais avec une partie du blé (50%) donnée séparément sous forme de graines broyées grossièrement de 8 à 10 jours, puis à partir de 11 jours sous forme de graines entières. La partie complémentaire est restreinte pour favoriser la consommation des particules grossières

puis des graines entières. A 15 jours, les animaux de poids extrême de chaque groupe sont à nouveau éliminés (30%). Les animaux conservés reçoivent des régimes croissance C et GE (2 animaux / cage). Pour le régime GE, 75% du blé est présenté sous forme de graines entières en libre choix. A 22 jours, une dernière élimination d'animaux est effectuée (20%) : dans le groupe C, les animaux de poids extrême; dans le groupe GE, les animaux ne s'habituant pas à la consommation de graines entières (< 9 %, l'objectif étant de 30%). Les animaux (1 par cage) reçoivent des régimes finition C et GE jusqu'à la fin de l'expérience (44 jours). Pour le régime GE, 100% du blé est présenté sous forme de graines entières. Le poids et la consommation des animaux sont contrôlés chaque semaine, de 8 à 43 jours.

Chaque semaine, de 16 à 44 jours, 6 animaux représentatifs de chaque régime sont sélectionnés, d'après leur poids. Ils sont abattus par injection intracardiaque de pentobarbital de sodium. Leurs contenus caecaux sont prélevés et congelés avec de l'azote liquide, puis conservés à -70°C jusqu'à l'analyse de leur flore.

1.2. Analyse de la flore digestive

L'ADN bactérien est extrait des contenus caecaux avec le kit QIAamp DNA Stool Mini Kit (Qiagen) selon le protocole défini par le fournisseur (Li et al., 2003) auquel une étape avec du lysozyme est ajoutée pour améliorer l'extraction de l'ADN de certains microorganismes (Pérez de Rozas et al., 2004). La qualité et la quantité d'ADN extrait sont contrôlées sur un gel d'agarose à 1% coloré au bromure d'éthidium. Pour visualiser l'ensemble des bactéries majoritaires, la région variable V6-V8 de l'ADNr 16S bactérien est amplifiée par PCR en utilisant des amorces ciblant le domaine Bacteria. Ces amorces sont Bact 968-GC-f (Nubel et al., 1996 ; Zoetendal et al., 1998) et Bact 1401-r (Nubel et al., 1996). Elles ont été utilisées par Zhu et al (2002) et van der Wielen et al (2002) pour l'analyse de la diversité de la flore digestive du poulet. Les produits PCR sont analysés par électrophorèse sur gel d'agarose 1% contenant du bromure d'éthidium pour contrôler leur taille (433 pb) et estimer leur concentration.

Les produits PCR sont séparés par électrophorèse en gradient dénaturant de température (Temporal Temperature Gradient gel Electrophoresis) à l'aide d'un Dcode Universal Mutation Detection System (Biorad). Sur chaque gel, les 6 échantillons des deux régimes pour un âge donné sont déposés. On utilise par ailleurs un marqueur de migration provenant d'un mélange équivalent de fragments d'ADNr 16S amplifiés à partir de 7 clones bactériens obtenus lors de l'inventaire moléculaire de la microflore fécale humaine d'un homme adulte (Suau et al., 1999). Après une pré-migration à voltage constant de 20 V pendant 20 min, a lieu la migration pendant 16 à 17 h

à voltage constant correspondant à une intensité initiale de 63 mA. Le gradient dénaturant de température (66°C à 70°C) est obtenu par une augmentation de 0.3°C par heure. Après la migration le gel est coloré dans une solution contenant du SYBR green. La fluorescence est lue à l'aide d'une caméra UV (Gel DOC XR, Biorad).

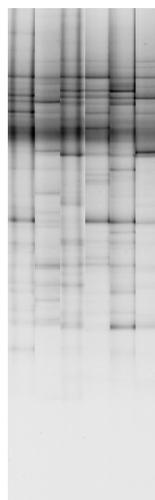
Les profils de TTGE obtenus sur un même gel, sont comparés en utilisant le logiciel GelCompar II (Applied Maths, Belgique). Le marqueur de migration est utilisé pour normaliser les profils. Les coefficients de similarité entre les pistes sont calculés en tenant compte de la position et de l'intensité des bandes en utilisant la méthode des corrélations de Pearson. Ceci conduit à la formation d'une matrice de similarité, utilisée pour construire un dendrogramme avec l'algorithme UPGMA (Unweighted Pair Group Method using Arithmetic average). Un seuil de similarité positive tenant compte des variations liées à l'extraction, l'amplification de l'ADN et le dépôt a été déterminé, il est de 97.2%.

Les analyses statistiques sont effectuées à l'aide du logiciel Statview (version 5). Les coefficients de similarité calculés pour chaque paire de profil des 6 individus d'un groupe donné (même régime, même âge) sont comparés entre les deux régimes pour un âge donné, avec le test de Student ($p \leq 0,05$).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Les profils obtenus par TTGE avec une amorce ciblant le domaine Bacteria permettent d'observer la flore majoritaire (> 1%; Muyzer et al., 1993). Quelque soit l'âge des animaux, ces profils bactériens sont différents pour des individus du même âge et élevés dans les mêmes conditions (dont le même régime) comme le montre la comparaison des profils pour les animaux de 30 j consommant le régime contrôle (Figure 1). En effet, bien que certaines bandes soient communes à plusieurs individus, chaque animal présente un profil différent en terme de position et d'intensité des bandes. Ceci traduit une flore digestive propre à chaque individu, comme ceci a été observé précédemment par des méthodes de culture conventionnelle (Barnes et al., 1972) et confirmé par l'observation d'empreintes moléculaires aussi bien chez l'homme (Zoetendal et al., 1998) que chez les animaux comme le porc (Simpson et al., 2000; Konstantinov et al., 2004) ou le poulet (Zhu et al., 2002; Van der Wielen et al., 2002; Pedroso et al., 2006). Chez l'homme et la souris, le génotype de l'hôte interviendrait dans l'établissement de la flore digestive (Zoetendal et al., 2001; Toivanen et al., 2001).

Figure 1. Variabilité individuelle de la flore digestive caecale (régime contrôle, 30 jours)



La comparaison des coefficients de similarité entre les profils d'individus du même âge élevés dans les mêmes conditions montre que la variabilité individuelle de la flore peut être modifiée par le régime alimentaire. Ainsi, à 23 j, les différences entre individus apparaissent plus importantes avec le régime GE par rapport au régime C (Tableau 1). Cette différence pourrait être due aux proportions variables de graines ingérées selon les individus dans le cas du régime GE (de 12 à 31%), et donc une composition plus variable des contenus digestifs, substrat de la flore.

Tableau 1. Coefficient de similarité (corrélations de Pearson) (%) entre les flores caecales individuelles pour chaque régime à différents âges

Age	Régime	
	Contrôle (C)	Graines entières (GE)
16j	87,4 ± 0,99	84,9 ± 2,19
23 j	96,4 ± 0,25 a	94,5 ± 0,49 b
30 j	89,7 ± 1,04	88,9 ± 1,06
37 j	94,4 ± 0,56 b	96,3 ± 0,42 a
44 j	90,9 ± 0,86 b	94,0 ± 0,56 a

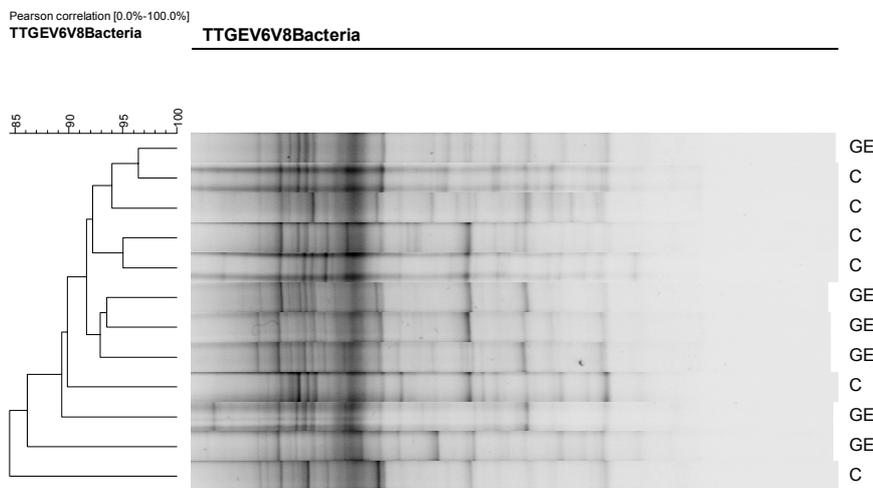
(a,b) Les moyennes ± SEM, dans la même ligne avec des lettres différentes, diffèrent significativement ($p \leq 0,05$).

A 37 j, on observe le phénomène inverse, c'est-à-dire une variabilité individuelle plus faible avec le régime GE par rapport au régime C (Tableau 1), alors que la variation de proportions de graines consommées par les différents individus est toujours importante (32 à 54%). A 44 j, la plus forte similarité entre les animaux du régime GE se maintient, la proportion de graines entières consommées présentant aussi une variation (42 à 56%). Le blé présenté sous forme de graines entières conduirait à une plus grande homogénéité de la flore entre individus au bout de 4 semaines de consommation, malgré la variation de proportions de graines consommées par les animaux. Les modifications physiologiques entraînées par ce mode d'alimentation, comme l'augmentation du développement du gésier entraînant une augmentation de l'acidification de son contenu (Gabriel et al., 2003a ; Engberg et al., 2004) pourrait expliquer cet effet régulateur sur la flore. Ainsi, en plus de l'effet de l'alimentation sur la flore digestive comme l'inclusion de graines entières (Gabriel et al., 2003b; Engberg et al., 2004) ou la modification de la composition des régimes (Mathlouthi et al., 2002 ; Knarreborg et al.,

2002), l'aliment peut avoir un effet sur la variabilité individuelle de la flore digestive.

Cette variabilité pourrait être à l'origine d'un effet variable, selon les individus, des facteurs pouvant modifier la flore digestive, comme les alternatives aux antibiotiques. Ainsi, après la consommation d'un probiotique, les fermentations caecales diffèrent selon les individus (Ohashi et al., 2004). Cette variabilité individuelle peut aussi empêcher de mettre en évidence des différences de flore, dues à la modification de l'alimentation par exemple. Ainsi, alors qu'il a été montré par des méthodes de culture conventionnelle que l'utilisation de graines entières dans l'alimentation a des effets sur la flore digestive (Glünder, 2002; Gabriel et al., 2003b; Engberg et al., 2004), avec une approche d'empreinte moléculaire sur des échantillons individuels, aucune différence ne peut être mise en évidence quelque soit l'âge. En effet, l'analyse du dendrogramme montre qu'il n'est pas possible de regrouper clairement les différents individus de chacun des deux régimes, comme le montre l'exemple des profils de flore caecale des animaux de 30 jours (Figure 2).

Figure 2. Dendrogramme représentant les relations entre les profils bactériens de la flore digestive caecale de poulets (30 jours) ayant consommés soit un régime contrôle (C), soit un régime graines entières (GE)



Pour limiter la variabilité individuelle, dans le cas de l'étude des modifications de la flore par empreinte moléculaire, certains auteurs ont proposé de regrouper les contenus digestifs de plusieurs individus, tout en conservant une visualisation de cette variabilité en utilisant plusieurs regroupements par traitement étudié (Knarreborg et al., 2005 ; Pissavin et al., 2006). Ainsi en utilisant des regroupements de 6 individus, il est possible de mettre en évidence des différences de flore entre segments digestifs comme l'iléon et les caeca, ou entre lieu d'élevage (Pissavin et al., 2006).

D'autres auteurs ont proposé de s'affranchir de cette variabilité individuelle en regroupant les contenus digestifs de plusieurs individus, et en choisissant pour chaque traitement étudié un regroupement représentatif (Knarreborg et al., 2002 ; Massias et al., 2006 ; Pedroso et al., 2006). Le nombre d'individu par regroupement doit être suffisamment important pour éliminer la variabilité individuelle à l'intérieur d'un traitement, sans être trop important pour ne pas éliminer les différences entre traitements. Ainsi des regroupements de 6 à 30 individus selon les études

ont été proposés. Compte tenu des différences de flore persistant entre des regroupements constitués d'un faible nombre d'individus (par exemple 6 échantillons, Pissavin et al., 2006), il semble qu'un nombre plus important soit nécessaire. Ainsi avec des regroupements de 16 individus, Knarreborg et al (2002) ont montré des profils similaires pour un traitement donné. Avec des regroupements contenant un nombre plus important d'animaux (30 individus), des différences de flore digestive dues à l'utilisation d'alternatives aux antibiotiques facteurs de croissance ont ainsi pu être observées (Massias et al., 2006).

CONCLUSION

Malgré l'augmentation de l'homogénéité des animaux par la sélection génétique, la technique d'empreinte moléculaire utilisée dans cette étude montre que la flore digestive des poulets de chair présente une variabilité individuelle, qui peut être modifiée par la voie alimentaire. Cette variabilité doit être prise en compte pour l'étude des facteurs de variation de la flore digestive.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Barnes, E. M., Mead, G. C., Barnum, D.A., 1972. *Br. Poult. Sci.*, (13), 311-326.
- Engberg, R. M., Hedemann, M. S., Steinfeldt, S., Jensen, B. B., 2004. *Poult. Sci.*, (83), 925-938.
- Gabriel, I., S. Mallet, Leconte, M., 2003a. *Br. Poult. Sci.*, (44), 283-290.
- Gabriel, I., S. Mallet, Leconte, M., Fort, G., Naciri, M., 2003b. *Poult. Sci.*, (82), 1668-1676.
- Glünder, G., 2002. *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift*, (109), 266-270.
- Knarreborg, A., Simon, M. A., Engberg, R. M., Jensen, B. B., Tannock, G. W., 2002. *Appl. Environ. Microbiol.*, (68), 5918-5924.
- Knarreborg, A., Hoeybye, K., Milora, N., Leser, T.D., 2005. 28th Poultry Science Symposium, WPSA UK Branch: Avian Gut function, Health and disease, Bristol, UK, p. 47.
- Konstantinov, S. R., Favier, C. F., Zhu WeiYun, Williams, B. A., Kluss, J., Souffrant, W. B., Vos, W. M. de, Akkermans, A. D. L., Smidt, H. I., 2004. *Anim. Res.*, (53), 317-324.
- Lan, P. T., Hayashi, H., Sakamoto, M., Benno, Y., 2002. *Microbiol. Immunol.*, (46), 371-382.
- Li, M., Gong, J., Cottrill, M., Yu, H., de Lange, C., Burton, J., Topp, E., 2003. *J. Microbiol. Methods*, (54), 13-20.
- Massias, B., Arturo-Schaan, M., Elie, A.M., Bebin, K., Hocde, V., Denayrolles, M., Urdaci, M.C., 2006. *Reprod. Nutr. Develop.*, (46), S105.
- Mathlouthi, N., Mallet, S., Saulnier, L., Quemener, B., Larbier, M., 2002. *Anim. Res.*, (51), 395-406.
- Muyzer, G., De Waal, E. C., Uitterlinden, A.G., 1993. *Appl. Environ. Microbiol.*, (59), 695-700.
- Nubel, U., Engelen, B., Felske, A., Snaidr, J., Wieshuber, A., Amann, R.I., Ludwig, W., Backhaus, H., 1996. *J. Bacteriol.*, (178), 5636-5643.
- Ohashi, Y., Tokunaga, M., Ushida, K., 2004. *J. Nutr. Sci. Vitamin.*, (50), 399-403.
- Pedroso, A. A., Menten, J. F. Lambais, M.R., Racanicci, A.M., Longo, F.A., Sorbara, J.O., 2006. *Poult. Sci.*, (85), 747-752.
- Pérez de Rozas, A. M., Roca, M., Carabano, R., de Blas, C., Francesch, M., Brufau, J., Marin-Orue, S.M., Gasa, J., Campoy, S., Barbe, J., Badiola, I., 2004. *Reprod. Nutr. Develop.*, (44), S4.
- Pissavin, C., Gabriel, I., Burel, C., Mallet, S., Maurice, R., Lessire, M., Fravallo, P., 2006. *Reprod. Nutr. Develop.*, (46), S26.
- Simpson, J. M., McCracken, V. J., Gaskins, H. R., Mackie, R. I., 2000. *Appl. Environ. Microbiol.*, (66), 4705-14.
- Suau, A., Bonnet, R., Sutren, M., Godon, J.J., Gibson, G.R., Collins, M.D., Dore, J., 1999. *Appl. Environ. Microbiol.*, (65), 4799-4807.
- Toivanen, P., Vaahtovuori, J., Eerola, E., 2001. *Infect. Immun.*, (69), 2372-2377.
- Wielen, P. W. J. J. v. d., Keuzenkamp, D. A., Lipman, L.J.A., Knäpen, F. van, Biesterveld, S., 2002. *Microb. Ecol.*, (44), 286-293.
- Zhu, X. Y., Zhong, T., Pandya, Y., Joerger, R.D., 2002. *Appl. Environ. Microbiol.*, (68), 124-137.
- Zoetendal, E. G., Akkermans, A. D., De Vos, W.M., 1998. *Appl. Environ. Microbiol.*, (64), 3854-9.
- Zoetendal, E. G., Akkermans, A. D. L., Akkermans-van Vliet, W.M., deVisser, J.A.G.M., deVos, W.M., 2001. *Microb. Ecol. Health Dis.*, (13), 129-134.

VALEURS DE L'ENERGIE METABOLISABLE (EMA) DU SON DE BLE DUR : INFLUENCE DU TYPE D'OISEAU ET DE LA TEMPERATURE AMBIANTE

Boudouma Dalila

*Institut National Agronomique - Département de Zootechnie, Hacén Badi, 16200 El Harrach,
Alger, Algérie*

RÉSUMÉ

L'objectif de cette étude était de comparer les valeurs EMA du son de blé dur mesurées chez le poulet de chair et la poule pondeuse à des températures ambiantes de 21 et 32°C. Les mesures se sont déroulées dans des cellules conditionnées maintenues à des températures constantes de 21°C et de 32°C où 15 poulets de chair et 15 poules pondeuses sont disposés dans des cages à métabolisme. Les oiseaux ont reçu par gavage 30 grammes de son de blé dur. La mesure des valeurs EMA est effectuée selon la méthode de collecte totale des excréta. Dans les deux conditions d'ambiance thermique, la poule pondeuse avait mieux valorisé que le poulet de chair le potentiel énergétique du son de blé dur (2082 contre 1812 kcal/kg MS à 21°C et 1991 contre 1771 kcal/kg MS à 32°C). Pour les deux types d'oiseau, la valeur EMA du son de blé a été statistiquement ($P < 0,05$) plus faible à 32°C qu'à 21°C. A 32°C, la valeur EMA du son de blé mesurée chez la poule pondeuse est restée encore statistiquement supérieure ($P < 0,05$) à celle mesurée chez le poulet de chair à 21°C (1991 contre 1812 kcal/kg MS). L'analyse de variance des résultats n'a pas montré d'effet significatif de l'interaction « type d'oiseau*température » sur la valeur EMA du son de blé dur. En revanche, elle a permis de mettre en évidence l'effet très hautement significatif ($P < 0,001$) des facteurs « type d'oiseau » et « température » sur ce potentiel énergétique. Ces sources de variation de la valeur EMA des sons de blé devraient être prises en considération par les fabricants d'aliments de volaille, particulièrement lorsque les élevages sont menés en conditions de stress thermique.

ABSTRACT

The aim of the experiment is to compare the AME values of the wheat bran measured with broilers chickens and layers exposed to a normal (21°C) environment and to heat stress at 32°C. The trials were conducted in controlled environmental rooms where 15 broilers chicken and 15 layers were housed in individual wire cages. They were force fed with 30g of wheat bran. AME values were determined using a total collection procedure of excreta. At both 21°C and 32°C, the layers metabolise better than the broiler chickens the energetic potential of the wheat bran (2082 vs 1812 kcal/kg DM at 21°C and 1991 vs 1771 kcal/kg DM at 32°C). For both layers and broilers, AME value of the bran is higher ($P < 0,05$) at 21°C than at 32°C. The AME value of wheat bran measured with layers in hot conditions, remained statically higher ($P < 0,05$) than the AME value of wheat bran measured with the chicken broilers in classical ambient temperature. Interaction of « bird * ambient temperature » on AME value of the bran was not statistically significant ($P > 0,05$). However, the variance analysis of the results showed significant ($P < 0,001$) effect of « bird » and « ambient temperature » on the AME value of the wheat bran. These sources of variation of the AME value of the wheat bran must be taken into account by the poultry food manufacturers, particularly in conditions of thermal stress.

INTRODUCTION

En Algérie, les rations destinées à la volaille sont essentiellement composées de tourteau de soja et de maïs, matières premières totalement importées. Selon l'office national du bétail, en 2003, ces importations ont été de l'ordre de 516 072 tonnes de maïs et 175 015 tonnes de tourteau de soja. Cette situation entraîne un coût élevé de l'aliment et la substitution partielle de ces deux matières premières par celles d'origine locale, constituerait alors une alternative intéressante pour réduire le coût de revient de l'aliment. Dans cette optique, le son de blé est devenu un des composants classique des rations destinées à la volaille. Toutefois, en l'absence d'informations précises relatives à sa composition chimique et à sa valeur nutritive, il est introduit dans les rations sur la base des données consignées dans les tables étrangères de composition chimique et de valeur nutritive des aliments. Or, il est rapporté depuis les années 60 que le potentiel nutritionnel et notamment énergétique est soumis à l'influence de nombreux facteurs dont ceux liés à l'animal, à l'aliment et à la conduite de l'élevage des volailles.

Ainsi, la majorité des auteurs s'accordent à affirmer que le génotype (Leeson et al., 1974, Pishnamazi et al., 2005) et l'âge (Leenstra and Pit, 1987) de l'oiseau constituent d'importants facteurs de variation de l'utilisation de l'énergie des aliments. Quant au sexe de l'oiseau, il exerce selon Sibbald (1975), Vincze et al. (1992) une influence certaine sur la valeur EM des aliments, alors qu'il est sans effet significatif pour Adnan (1981) et Zelenka (1997). L'influence des températures élevées sur la valeur énergétique des aliments destinés à la volaille est également controversée. En effet, si les travaux menés par El Hussein et Creger (1980); Keshavarz et Fuller (1980), Géraert et al. (1992) ne montrent pas de modifications sensibles de l'EM des aliments sous l'effet des températures élevées, ceux de Yamazaki et Zi-Yi (1982) et de Bonnet et al. (1997) rapportent en revanche une diminution de l'utilisation énergétique des aliments lorsque les oiseaux sont élevés dans des conditions de stress thermique.

Afin d'utiliser de façon rationnelle les sons de blé dans l'alimentation de la volaille, nous avons mesuré la valeur EM de ce sous-produit chez le poulet de chair et la poule pondeuse et avons recherché l'effet d'une température élevée (32°C) sur ce paramètre compte tenu qu'en Algérie l'élevage avicole est concentré dans la partie nord du pays où les températures oscillent durant 1/3 de l'année entre 32 et 35°C.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Animaux

1.1.1. Poulets de chair

Deux lots de 50 poussins d'un jour et de souche ISA 15 ont été constitués. Les oiseaux du premier lot ont été répartis dans une cellule climatisée dans laquelle la température ambiante de départ de 32°C a été progressivement réduite jusqu'à atteindre au bout de 3 semaines une température de 21°C. Les oiseaux du second lot ont été regroupés dans une autre cellule conditionnée où la température a été maintenue dès le début de l'expérience à 32°C.

Jusqu'à l'âge de 27 jours, les deux lots de poulets ont été élevés classiquement à terre et ont reçu un aliment commercial qui renferme 3000 kcal d'EM / kg et 21% MAT. A l'âge de 28 jours, 15 poulets (15 répétitions) sélectionnés sur la base d'un poids vif homogène ont été prélevés de chaque cellule climatisée et ont été transférés en batterie de cages à métabolisme individuelles. Celles-ci sont disposées dans des cellules maintenues dans les mêmes conditions de température que celles observées précédemment : 21 et 32°C.

1.1.2. Poules pondeuses

50 poules en pré ponte, de souche ISABROWN et âgées de 20 semaines ont été réparties en deux lots. Les oiseaux du premier lot ont été élevés classiquement à terre dans une cellule où la température ambiante est maintenue constante à 21°C tandis que le second lot d'oiseaux a évolué dans une cellule où la température ambiante est de 32°C. Jusqu'à l'âge de 24 semaines, les poules ont reçu un aliment renfermant 14% de protéines et 2600 kcal d'EM /kg. A l'issue de cette période, 15 poules (15 répétitions) de chaque lot ont été sélectionnées sur la base d'un poids vif comparable et ont été réparties dans des cages à métabolisme individuelles installées dans deux cellules où la température ambiante est respectivement de 21 et 32°C.

Durant toute la période d'élevage et de mesures, l'humidité relative des cellules conditionnées a été maintenue à 60% et l'éclairage a été assuré en continu.

1.2. Aliment

L'aliment expérimental utilisé dans les 2 essais est représenté par du son de blé dur produit en Algérie et collecté auprès d'une unité industrielle de semoulerie. Il a été finement broyé (0,5mm de diamètre des particules) avant d'être soumis aux analyses chimiques et d'être humidifié pour le gavage des animaux.

1.3. Analyses chimiques

La matière sèche des échantillons de son de blé dur et des excréta a été déterminée selon les recommandations de AFNOR (1985). L'énergie brute du son de blé dur et des excréta a été mesurée après combustion totale des échantillons dans une bombe calorimétrique IKA Werck de type adiabatique

1.4. Mesure de l'énergie métabolisable apparente du son de blé

Durant les 2 premiers jours de la mise en cage à métabolisme, les poulets de chair et les poules soumis au bilan énergétique ont continué à recevoir à volonté l'aliment classique dont 50% ont été remplacés par du son de blé dur. Après 24 heures de jeun, les oiseaux ont reçu par la méthode de gavage humide (Lessire, 1990) durant 2 jours consécutifs 30 g de son de blé dur. A l'issue de cette période d'alimentation forcée, les oiseaux ont été soumis à un jeun de 24 heures afin de permettre l'excrétion de l'ensemble des résidus alimentaires. La mesure de l'énergie métabolisable apparente du son de blé dur a été réalisée selon la méthode de récolte totale des excréta. Les excréta de chaque oiseau ont été immédiatement conservés à - 20°C après chaque collecte. Ils ont été par la suite séchés en étuve portée à 62°C durant 48 heures puis ont été laissés à température ambiante, pesés, broyés et conservés à + 4°C.

1.5. Analyses statistiques

Les résultats ont été soumis à l'analyse de variance à un et deux facteurs de classification ainsi qu'à une comparaison des moyennes par le test de Newman et Keuls. Le seuil de probabilité de 5% a été considéré comme significatif.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Les valeurs EMA du son de blé obtenues à l'issue de cette expérience sont présentées par le tableau 1.

La valeur EMA de l'ordre de 1800 kcal/ kg MS du son de blé mesurée chez le poulet de chair à 21°C est située dans la gamme des valeurs rapportées par Nunes et al. (2001) et qui varient de 1807 à 1972 kcal/kg MS pour des oiseaux de même type et de même âge. Dans les mêmes conditions de température (21°C), la valeur EM du son mesurée chez la poule pondeuse a été de 2082 kcal/kg MS. Elle est comparable à celle obtenue par Sibbald (1976) et qui est de l'ordre de 1956 kcal/kg MS, mais elle apparaît faible en comparaison à la valeur rapportée par Hoshii et al. (1970) qui atteint 2270 kcal/ kg.

Les valeurs EMA mesurées dans cette expérience montrent clairement que la poule a mieux utilisé

($P < 0,05$) que le poulet de chair le potentiel énergétique du son de blé (+15%).

En conditions de température élevée (32°C) la poule valorise encore mieux ($P < 0,05$) que le poulet de chair (+ 16%) l'énergie du son de blé. Les valeurs EMA mesurées respectivement avec la poule et le poulet de chair ont été de 1991 et 1711 kcal/kg MS.

Pour les deux types d'oiseau, l'effet exercé par la température ambiante sur les valeurs EMA du son de blé dur a été très hautement significatif ($P < 0,001$). L'utilisation de l'énergie du son de blé dur par la poule et le poulet à 32°C a été significativement plus faible ($P < 0,05$) que celle observée à 21°C. L'écart observé entre les valeurs EMA du son de blé mesurées dans les deux situations de température ambiante a été de -5,6% pour le poulet de chair et de -4,3% pour la poule pondeuse. Peu d'informations bibliographiques concernent l'effet de la chaleur sur la valeur EM des matières premières chez la volaille. Toutefois, Zuprizal et al. (1993) ont signalé des réductions de valeurs de l'EM de 1,8, 8,5 et 13% respectivement pour le tourteau de soja, le tourteau de colza entier et le tourteau de colza décortiqué. Des modifications de la physiologie digestive des oiseaux induites par la chaleur (Dibner et al., 1992 ; Mitchell et Carlisle, 1992) seraient à l'origine de la diminution de la digestibilité des composants du régime et donc de la valeur EM de celui-ci (Bonnet et al., 1997).

L'analyse de variance des résultats a révélé également que le facteur « type d'oiseau » exerce un effet très hautement significatif ($P < 0,001$) sur les valeurs EMA. Cette différence d'utilisation de l'énergie entre les deux types d'oiseaux corrobore les observations notées par Leenstra et Pit (1987). En revanche, nous n'observons pas d'interaction « oiseau*température » sur les valeurs EM mesurées.

Les valeurs EM obtenues dans le cadre de cet essai doivent être considérées avec prudence car en pratique, le son est grossièrement broyé alors que dans nos conditions expérimentales, la taille des particules (5 mm) a sans doute modifié la digestion du son (Carré, 2000) et réduit la variabilité des valeurs EM.

CONCLUSION

A l'issue de ces essais, il apparaît que les sons de blé renferment un potentiel énergétique exploitable en alimentation aviaire. Par ailleurs, quelque soit la température ambiante (21 ou 32°C), l'énergie des sons de blé est mieux valorisée par la poule que par le poulet de chair. La poule présenterait des particularités qui lui permettent, même en conditions de température élevée, de mieux utiliser que le poulet maintenu à une température de 21°C, l'énergie du son de blé. L'élévation de la température réduit la valeur EMA du son de blé pour les deux types de volaille. Ces sources de variation devraient être prises en

considération par les fabricants d'aliment de volaille qui devraient, privilégier l'utilisation du son de blé dans l'alimentation de la poule pondeuse, et adopter des valeurs EM différentes pour le son selon que

l'aliment à base de ce sous-produit soit utilisé en saison chaude ou tempérée.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adnan M.A., 1981. *Poult. Sci.*, (60), 781-785.
- AFNOR., 1985. Association Française de Normalisation, Aliments des animaux. Méthodes d'analyses françaises et communautaires. 2^{ème} édition. Paris. France.
- Bonnet S., Géraert P.A., Lessire M., Carré B., Guillaumin S., 1997. *Poult. Sci.*, (76), 857- 863.
- Carré B., 2000. *INRA.Prod.Anim.*, (13), 131-136.
- Dibner J.J., Arwell C.A., Ivey F.J., 1992. *Poult. Sci.*, (71), 1900-1910.
- El Husseiny O., Creger C.R., 1980. *Poult. Sci.*, (59), 2307- 2311.
- Géraert P.A., Guillaumin S., Zuprizal., 1992. *Poult. Sci.*, (71), 2113- 2116.
- Hoshii H., Setsune H., Yoshida M. 1970. *Jap. Poult.Sci.*, (7), 147-150.
- Keshavarz K., Fuller H.L., 1980. *Poult. Sci.*, (59), 2121- 2128.
- Leenstra F.R., Pit R., 1987. *Poult.Sci.*, (66), 193-202.
- Leeson S.K., Boorman N., Lewis D., Shrimpton D.H., 1974. *Brit. Poult.Sci.*, (15), 183-189.
- Lessire M., 1990. *British. Poult. Sci.*, (31), 785-793.
- Mitchell M.A., Carlisle A.J., 1992. *Comparative Biochemistry and Physiology.*, (101 A), 137-142.
- Nunes R.V., Rostagno H.S., Albino L.F.T., Gomes P.C., Toledo R. S., 2001. *Rev. Bras. Zootec.*, (30), 785- 795.
- Pishnamazi A., Pourreza J., Zdriss M.A., Samie A.H., 2005. *Int. J. Poult.Sci.*, (4), 163-166.
- Sibbald I.R., 1975. *Poult.Sci.*, (54), 1990-1997.
- Sibbald I.R., 1976. *Poult. Sci.*, (55), 1459-1463.
- Vincze L., Dublec K., Jakab E., Szuts G., Wagner L., 1992. *World's Poultry Congress.*, (3), 463-465.
- Yamazaki M., Zi-Yi Z., 1982. *British. Poult.Sci.*, (23), 447-450.
- Zelenka J., 1997. *British. Poult. Sci.*, (38), 281-284.
- Zuprizal, Larbier M., Chagneau A.M., Géraert P.A., 1993. *Poult. Sci.*, (72), 289-295.

Tableau 1. Valeurs moyennes de l'EMA du son de blé mesurées chez le poulet de chair et la poule pondeuse aux températures de 21 et 32°C.

Oiseau	Poulet de chair		Poule pondeuse		Signification statistique		
	21°C	32°C	21°C	32°C	Effet oiseau (P)	Effet température (P)	Effet Oiseau*température (P)
EMA moyenne±SEM	1812±14 ^a	1711±10 ^b	2082±16 ^c	1991±16 ^d	<0,0001	<0,0001	0,722

EMA : Energie métabolisable apparente (kcal/kg MS)

^{a,b,c,d} : Les valeurs moyennes affectées de lettres différentes sont statistiquement différentes (P<0,05).

SEM : Ecart- type à la moyenne

ORIGINE DE LA VARIATION DE LA DIGESTION DES PROTEINES DE POIS (PISUM SATIVUM L.) CHEZ LE POULET

Gabriel Irène¹, Lessire Michel¹, Juin Hervé², Burstin Judith³, Duc Gérard³, Quillien Laurence^{3,4}, Thibault Jean-Noël⁵, Ganier Philippe⁵, Mézière Nadine⁵, Leconte Maryse¹, Hallouis Jean-Marc¹, Cassecuelle Florence³, Marget Pascal³, Sève Bernard⁵

¹ INRA, UR83 Recherches Avicoles, 37380 NOUZILLY, ² INRA, UE1206 Elevage Alternatif et Santé des monogastriques, Le Magneraud, BP52, 17700 Saint-Pierre-d'Amilly, SURGERES, ³ INRA, Unité de recherche Génétique et Ecophysiologie des Légumineuses, Domaine d'Époisses, 21110 BRETENIERES, ⁴ INRA, Unité de recherche sur les Biopolymères, Interactions, Assemblages, rue de la Géraudière, 44316 NANTES, ⁵ UMR INRA-Agrocampus Renne, Système d'Elevage Nutrition Animale et Humaine, 35590 SAINT GILLES

RÉSUMÉ

L'objectif de ce travail est d'étudier l'origine de la variation de la digestion des protéines de pois chez le poulet et de rechercher un outil pour sélectionner les variétés en utilisant une méthode d'hydrolyse *in vitro*. Huit génotypes de pois ont été sélectionnés pour leur différence quantitative et qualitative de protéines. Ces génotypes incluant différents types de pois, sont aussi variables pour d'autres constituants (glucides, inhibiteurs trypsiques). Après dépelliculage et microbroyage, les farines des graines des huit génotypes sont incorporées comme source unique de protéines dans des régimes isoprotéiques et isoénergétiques. La digestibilité iléale des acides aminés est mesurée chez des poulets caectomisés par bilan digestif pour obtenir la digestibilité apparente, et en utilisant la méthode de dilution isotopique pour déterminer l'excrétion endogène et la digestibilité vraie, après un repas contenant du pois marqué à l'azote ¹⁵N. Les régimes obtenus avec les 8 génotypes présentent des digestibilités apparentes moyennes des acides aminés variant de 79.5 à 86.3%. Cette digestibilité est corrélée négativement à la teneur en parois cellulaires insolubles et à l'activité antitrypsique. La variation de la digestibilité apparente est due à la fois à une variation de l'excrétion endogène et de la digestibilité vraie. En effet, les pertes endogènes varient selon les génotypes de 3.6 à 5.4% des acides aminés ingérés. Elles sont corrélées positivement à la teneur en glucides solubles et à l'activité antitrypsique. La digestibilité vraie varie selon les génotypes de 84.4 à 90.2%. Elle est corrélée aux teneurs en protéines majoritaires. Cette digestibilité vraie peut être approchée par une méthode d'hydrolyse *in vitro* faisant intervenir la pepsine, puis la trypsine et la chymotrypsine.

ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the origin of variation in pea protein digestibility in chicken and to search for tools to select varieties by using *in vitro* hydrolysis assay. Eight pea genotypes were selected for their difference in seed protein content and composition. These genotypes, including various types of peas, were also variable for other seed components (carbohydrates, trypsin inhibitor (TI)). After dehulling and micro-grounding, the pea meals were incorporated as the only protein source in isoproteic and isocaloric diets. Ileal amino acid digestibility was studied in cecectomized chicken by balance method to obtain apparent digestibility and using the isotope dilution technique in order to determine prececal true digestibility and endogenous losses, after a labelled test meal with ¹⁵N-labelled pea. The 8 diets showed an apparent average digestibility for all amino acids varying from 79.5 to 86.3%. This digestibility was negatively correlated with insoluble fibre content and TI activity. Variation of apparent digestibility is due to variation of endogenous losses and true digestibility. Endogenous losses differed among the 8 pea genotypes ranging from 3.6 to 5.4 % of ingested amino acids. They were positively correlated with soluble carbohydrate content and TI activity. The true digestibility varied among genotypes, from 84.4 to 90.2 %. It was correlated with major protein fractions. True digestibility may be approached by an *in vitro* hydrolysis method involving pepsin then trypsin and chymotrypsin.

INTRODUCTION

En Europe pour réduire l'utilisation du tourteau de soja dans l'alimentation des monogastriques, en particulier des volailles, des légumineuses telles que le pois peuvent être utilisées comme source de protéines. Cependant la variabilité de la digestibilité des protéines de pois (Igbasan et al., 1997 ; Grosjean et al., 1998, 1999) conduit à une sous-estimation de la valeur nutritionnelle du pois par les fabricants d'aliment, réduisant leur incorporation dans les régimes.

Différents facteurs ont un effet sur la digestion des protéines, comme les tannins (Longstaff et McNab, 1991) ou la taille des particules (Créviéu et al., 1997a). Par ailleurs, la variation de la digestibilité apparente des protéines peut être due à une variation de la digestibilité vraie, mais aussi aux pertes de protéines endogènes (sécrétions digestives, mucoprotéines, cellules épithéliales intestinales desquamées, protéines microbiennes). Ces dernières représentent des quantités importantes chez le porc nourri avec du pois et pourraient varier selon les génotypes de pois (Sève et Hess, 2000). Chez les oiseaux, ces pertes endogènes sont déterminées la plupart du temps chez des animaux à jeun ou consommant un régime protéoprive. Ceci permet seulement d'estimer les pertes endogènes basales, mais pas les pertes spécifiques dues au régime lui-même. Pour cela, d'autres méthodes ont été développées tel que le marquage de l'aliment à l'¹⁵N (Hess et al., 2000). Différents facteurs pourraient être impliqués dans la variation des pertes endogènes et de la digestibilité vraie, telle que la composition de la graine, en particulier sa composition protéique.

Au cours de ce travail, nous avons étudié chez le poulet la digestibilité des protéines de 8 variétés de pois après dépelliculage ayant des compositions différentes en protéines, et présentant aussi des variations pour d'autres caractéristiques (glucides, inhibiteurs trypsiques). Nous avons déterminé les pertes endogènes totales (basales et spécifiques) par la méthode de dilution à l'¹⁵N. Pour s'affranchir de l'effet de la flore digestive caecale, ces mesures de digestibilité ont été effectuées au niveau iléal sur des animaux caeectomisés.

Enfin, pour proposer aux sélectionneurs un outil rapide d'estimation de la digestibilité des protéines du pois, nous avons évalué différents processus d'hydrolyse *in vitro*

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Préparation des pois et des régimes expérimentaux

Huit génotypes de pois ont été cultivés à l'INRA de Dijon, dont une partie marquée à l'¹⁵N. Pour limiter les variations de la digestion des protéines dues aux tannins ou à la taille des particules, les graines sont

dépelliculées et microbroyées. Le diamètre moyen des particules déterminé par un granulomètre laser est compris entre 21,2 et 22,0 µm, donc inférieur au diamètre moyen des cellules (83 à 103 µm ; Duc et al., 2001). Les parois cellulaires sont donc rompues. Les farines de pois ainsi obtenues sont caractérisées pour leur teneur en protéines (Nx6.25), acides aminés, amidon, parois cellulaires insolubles (AFNOR, 1998, XP V18-111), sucres solubles (European Directive, 1971, 71/250/CEE), tannins (INZO, 1999), inhibiteurs trypsiques et matière sèche. La composition en protéines est évaluée par chromatographie (Baniel et al., 1998).

Les pois sont utilisés comme source unique de protéines dans des régimes isoprotéiques (19,5%) et sont donc incorporés à des taux variables (68 à 93%) selon leur teneur en protéines. Les régimes sont aussi isoénergétiques (2950 à 3030 kcal/kg). Les autres ingrédients alimentaires sont de l'amidon de maïs, de l'huile végétale, des acides aminés (méthionine, tryptophane), un mélange de minéraux et vitamines et un anticoccidien. Des régimes marqués l'¹⁵N sont formulés en remplaçant du pois non marqué par du pois marqué ; ils contiennent aussi de l'oxyde de chrome comme marqueur indigestible (5g/kg). Ces régimes sont granulés dans des conditions limitant les modifications biochimiques des protéines. Ceci est contrôlé par la solubilité des protéines dans un tampon phosphate. La perte de solubilité après granulation se situe entre 11 et 23%. Un aliment contenant 20% d'un pois commercial microbroyé est également fabriqué et granulé.

1.2. Animaux et schéma expérimental

Des poulets mâles d'un jour (Ross) sont élevés au sol pendant 10 jours, puis en cage dans une cellule thermostatée. Jusqu'à 6 jours, ils reçoivent un régime commercial, puis à partir de 7 jours, ils reçoivent le régime contenant 20% de pois commercial microbroyé pour les habituer à consommer ce type de régime. A 14 et 15 jours, les animaux sont caeectomisés. A 18 jours, 48 animaux sont sélectionnés en fonction de leur poids vif, et répartis en 6 blocs de 8 animaux. Chaque animal est nourri avec 2 régimes pois différents pendant 2 périodes successives (Période 1 : 18 à 25 j et Période 2 : 25 à 32 j). Ainsi chaque régime expérimental est consommé par 12 animaux. Chaque période expérimentale est composée d'une période d'adaptation de 4 jours suivie d'une période de 4 jours de mesures composée d'un bilan digestif (56h d'alimentation précédé et suivi de 15 h de jeûne). A la fin de ce dernier jeûne un repas marqué à l'¹⁵N et à l'oxyde de chrome est distribué pendant 1 heure. Pendant le bilan digestif, les excréta sont collectés 2 fois par jour. Après la consommation du repas marqué, les excréta sont collectés toutes les heures pendant 9h (Hess et al., 2000). Les excréta sont stockés à -20°C, lyophilisés, pesés et broyés.

1.3. Méthodes analytiques pour mesurer la digestibilité *in vivo*

Pour déterminer la digestibilité apparente des acides aminés, les excréta collectés pendant le bilan digestif de deux animaux sont regroupés sur la base d'une digestibilité de l'azote protéique similaire. Les échantillons colorés des collectes horaires de digesta après le repas marqué à l'¹⁵N contenant de l'oxyde de chrome sont analysés en azote total et pour leur enrichissement en ¹⁵N. Pour chaque individu, les échantillons sont regroupés, en excluant les premiers ou derniers avec les plus faibles valeurs d'enrichissement (Hess et al., 2000), et dosés pour déterminer leur teneur en azote total, en 9 acides aminés, leur enrichissement en ¹⁵N, la teneur en oxyde de chrome et en acide urique. L'¹⁵N total est quantifié par un analyseur élémentaire (Carlo Erba, NA 1500) couplé à un spectromètre de masse isotopique (Micromass, Optima). L'oxyde de chrome est analysé par la méthode de Bolin et al. (1952). Les acides aminés marqués à l'¹⁵N sont déterminés par spectrométrie de masse couplée à une chromatographie gazeuse (Hess et al., 1998).

1.4. Hydrolyse *in vitro* des protéines

L'hydrolyse *in vitro* des protéines est effectuée avec de la pepsine (HCl 10 mM), de la trypsine ou de la chymotrypsine (tampon phosphate 50 mM, pH8) pendant 15 min, 3 h ou 5 h, ou l'action successive de la pepsine pendant 3h puis de la trypsine et de la chymotrypsine pendant 15 min ou 2 h. La réaction enzymatique est arrêtée par addition d'acide trichloroacétique (TCA). Les peptides solubles dans le TCA (PM < 3 kDa) sont alors dosés par une microméthode utilisant l'acide bicinchoninique.

1.5. Calculs et analyses statistiques

La digestibilité apparente des acides aminés est obtenue à partir du bilan digestif :

$$100 \times \left\{ \frac{(AA_i \times MS_i - AA_e \times MSe)}{AA_i \times MS_i} \right\}$$

avec MS_i et MSe étant les quantités de matière sèche ingérées et excrétées, AA_i et AA_e les quantités d'acides aminés en g/kg de matière sèche dans le régime et les excréta respectivement.

Les pertes endogènes déterminées avec les régimes marqués à l'¹⁵N sont calculées pour chacun des 9 acides aminés, en pourcentage des acides aminés ingérés :

$$100 \times \left\{ \frac{(Cr_i / AA_i)}{(Cr_e / AA_e)} \times [1 - (AA_e^{15N} / AA_i^{15N})] \right\}$$

avec Cr_i et Cr_e étant les quantités d'oxyde de chrome, en g/kg de matière sèche, dans le régime et les excréta respectivement, AA¹⁵N_e et AA¹⁵N_i étant l'enrichissement en azote ¹⁵N (exprimé en 'atom

percent excess'), pour l'N de chaque acide aminé dans les excréta et le régime respectivement.

La correction de la digestibilité apparente des acides aminés par les pertes endogènes totales conduit à la digestibilité vraie calculée comme la digestibilité de l'azote ¹⁵N de chaque acide aminé à partir du repas marqué, en pourcentage des acides aminés ingérés :

$$100 \times \left\{ 1 - \frac{Cr_i}{(AA_i \times AA_i^{15N} / N_{enr.})} \right\} / \left\{ \frac{Cr_e}{(AA_e \times AA_e^{15N} / N_{enr.})} \right\}$$

Les résultats sont présentés pour l'ensemble des acides aminés dosés.

Les digestibilités (apparentes et vraies) et les pertes endogènes sont comparées par analyse de variance à deux facteurs (période, régime). En l'absence d'interaction entre la période et le régime, les résultats sont présentés en fonction de la période ou du régime. Les moyennes sont alors comparées en utilisant le test de Student-Newman-Keuls (p≤0.05). Des coefficients de corrélations sont calculés entre les digestibilités (apparentes et vraies) ou les pertes endogènes et les caractéristiques des régimes ou les résultats d'hydrolyse *in vitro*.

2. RESULTATS ET DISCUSSIONS

2.1. Caractéristiques des pois

Après dépelliculage, seules deux variétés présentent des traces de tannins, VavD265 et E344, 0,16% et 0,02% de la matière sèche respectivement, du fait d'un dépelliculage incomplet. L'activité antitrypsique varie d'un niveau faible à un niveau moyen (1,9 à 6,8 UIT/mg), comme le montrent les résultats obtenus sur une large gamme de pois, 1 à 14,6 UIT/mg (Bastianelli et al., 1998). Les teneurs en protéines varient de 24,0 à 32,4%, l'amidon de 45,5 à 54,2%, les parois cellulaires insolubles de 7,1 à 9,5%, et les sucres solubles (incluant principalement les α-galactosides, mais aussi du saccharose) de 4,3 à 6,8%. Ces valeurs sont en accord avec l'étude de Bastianelli et al. (1998). Les pois étant incorporés en quantités différentes dans les régimes pour être isoprotéiques, les teneurs des différents composants sont recalculés dans les régimes : les parois cellulaires insolubles varient de 4,6 à 6,9%, les sucres solubles de 2,6 à 5,1% et l'activité antitrypsique de 1,3 à 4,9 UIT/mg. La composition en protéines des pois est également très variable, comme observé par Bastianelli et al. (1998). Les quantités relatives de l'albumine PA1 varient de 10 à 14%, la PA2 de 22 à 29%, la viciline de 15 à 20%, et la légumine de 23 à 36%.

2.2. Digestibilité apparente des acides aminés, excrétion endogène et digestibilité vraie

La digestibilité apparente moyenne des acides aminés, ainsi que les pertes endogènes et la digestibilité vraie ne montrent pas d'interaction entre la période et la

variété (Tableau 1). Il n'y a pas d'effet de la période (période 1 vs période 2) de bilan sur la digestibilité apparente et vraie, alors que les pertes endogènes varient selon la période, avec une plus forte excrétion au cours de la seconde période. Pour les 3 critères, un effet variété est observé.

Tableau 1. Digestibilité des acides aminés (apparente, vraie) et pertes endogènes des 8 variétés de pois

	Digestibilité apparente (%) $\Sigma 17$ aa ¹	Pertes Endogènes ² $\Sigma 9$ aa ³	Digestibilité vraie (%) $\Sigma 9$ aa ³
Période	0,42	<0,01	0,20
Variété	<0,01	<0,01	<0,01
Période x Variété	0,56	0,57	0,84
Période			
Période 1	83,1	4,06 ^b	87,3
Période 2	83,8	4,56 ^a	88,1
SEM	0,73	0,132	0,49
Variété			
China	81,4 ^{ab}	5,11 ^a	84,4 ^{bc}
Finette	86,0 ^a	3,99 ^b	90,2 ^a
Sommette	83,8 ^{ab}	3,94 ^b	89,7 ^a
Caméor	86,3 ^a	4,02 ^b	88,5 ^a
VavD265	83,0 ^{ab}	3,64 ^b	87,2 ^{ab}
Préclamex	85,8 ^a	4,28 ^b	89,4 ^a
E344	81,9 ^{ab}	4,15 ^b	84,8 ^c
Ballet	79,5 ^b	5,41 ^a	87,3 ^{abc}
SEM	1,17	0,218	0,79

¹ Ala, Arg, Asp, Cys, Glu, His, Ile, Leu, Lys, Met, Phe, Pro, Ser, Thr, Trp, Tyr, Val

² Exprimé en % des acides aminés ingérés

³ Ala, Asp, Ile, Leu, Lys, Phe, Pro, Thr, Val

La digestibilité apparente moyenne des acides aminés des 8 variétés de pois dépelliculées varie de 79.5 à 86.3%, et correspond aux variations rapportées chez le poulet, de 73 à 89% (Grosjean et al., 1999) et chez le porc, de 76 à 91% (Grosjean et al., 1998) avec des graines entières de pois sans tannin. La digestibilité apparente est corrélée négativement avec les parois cellulaires insolubles (Tableau 2), ce qui confirme leur effet négatif sur la digestion (Longstaff et McNab, 1991). Une corrélation négative est aussi observée entre la digestibilité apparente et l'activité antitrypsique (Tableau 2), ce qui n'avait pas pu être mis en évidence précédemment (Grosjean et al., 1998, 1999). Ceci est en accord avec l'étude de Wiseman et al. (2003) utilisant des variétés isogéniques de pois différant par leur teneur en inhibiteurs trypsiques, et montrant un effet négatif de ces facteurs antinutritionnels sur la digestibilité apparente. Cet effet négatif semble être lié à l'augmentation des pertes endogènes. Par ailleurs, les pois utilisés en

pratique en alimentation des volailles n'étant pas dépelliculés, des facteurs liés à la pellicule (fibres, tannin) peuvent intervenir.

Les pertes endogènes varient de 3.6 à 5.4% des acides aminés ingérés, suggérant des pertes spécifiques en fonction des variétés de pois comme observé précédemment chez le porc (Hess, 1999). Les pertes endogènes représentent entre 20 et 43 % des acides aminés excrétés, donc un coût nutritionnel important pour l'animal du fait de l'énergie et des acides aminés utilisés pour synthétiser les protéines endogènes dont elles sont issues comme observé chez le porc (Lahaye et al., 2004). L'excrétion endogène moyenne des acides aminés est corrélée positivement avec les sucres solubles et l'activité antitrypsique (Tableau 2). L'effet stimulateur des sucres solubles composés principalement d' α -galactosides pourrait être dû à leur fermentation par la flore digestive liée à l'absence d' α -galactosidase dans l'intestin du poulet (Carré et al., 1994). L'effet positif des inhibiteurs trypsiques pourrait s'expliquer en partie par la stimulation des sécrétions pancréatiques (Huisman et Jansman, 1991).

Tableau 2. Corrélations (R) entre la digestibilité (apparente, vraie) ou les pertes endogènes et les caractéristiques de l'aliment

	Digestibilité apparente $\Sigma 17$ aa ¹	Pertes endogènes $\Sigma 9$ aa ²	Digestibilité vraie $\Sigma 9$ aa ²
Parois cellulaires insolubles	-0,71*	ns	ns
Sucres solubles	ns	0,77*	ns
Inhibiteurs trypsiques	-0,93***	0,84**	ns
PA1 (%)	ns	ns	ns
PA2 (%)	ns	ns	0,71*
Viciline (%)	ns	ns	ns
Légumine (%)	ns	ns	-0,72*

^{1,2} Voir tableau 1

ns : non significatif, * P<0.05, ** P<0.01, *** P<0.001

La digestibilité vraie des acides aminés présente des valeurs différentes selon les régimes, de 84.4 à 90.2% (Tableau 1). Elle est corrélée positivement avec la proportion de PA2, et négativement avec la proportion de légumine (Tableau 2). La corrélation positive avec la PA2, suggère que cette protéine de structure compacte et globulaire, détectée dans les contenus digestifs (Crévieu et al., 1997b), ne serait pas un peptide résistant majoritaire comme ceci a été observé chez le porc (Le Gall et al., 2005). La corrélation négative avec la légumine est en accord avec la résistance à l'hydrolyse des sous unités β de légumine, qui pourrait être due à la structure très ordonnée de ces polypeptides et à leur forte

hydrophobicité (Créviu et al., 1997b). Aucune corrélation n'est observée avec la viciline alors que cette fraction protéique est très bien hydrolysée (Créviu et al., 1997), ni avec la PA1, alors que cette fraction protéique est très résistante à l'hydrolyse (Le Gall et al., 2005). Ces absences de corrélation pourraient être dues à la présence de peptides de résistance différente dans les pics de chromatographie. Une caractérisation plus fine de la composition protéique pourrait permettre d'affiner les relations entre composition protéique et digestibilité vraie.

2.3. Outils de sélection des pois par une approche d'hydrolyse *in vitro*

Différentes méthodes *in vitro* ont été développées pour prédire la digestibilité *in vivo*, aussi bien des systèmes fermés que des systèmes ouverts (Fuller, 1991). Les premiers systèmes présentent l'avantage de leur simplicité. Ainsi nous avons étudié un tel système, avec différentes enzymes et différents temps d'hydrolyse. Les résultats montrent une corrélation positive entre la digestibilité vraie de la lysine et la quantité de peptides (PM < 3 kD) libérée après 15 min d'hydrolyse par la trypsine (R=0.90), mais sans amélioration des corrélations avec des temps d'hydrolyse plus longs (3 h : R=0.85 ; 5 h : R=0.84). Aucune autre corrélation n'est mise en évidence avec l'action d'une seule enzyme. Avec l'hydrolyse séquentielle par la pepsine (3h), puis par la trypsine et la chymotrypsine (15 min), une corrélation positive est observée avec la digestibilité vraie moyenne des 9 acides aminés (R=0.74). Une hydrolyse plus longue avec la trypsine et la chymotrypsine (2h) entraîne la disparition de la corrélation. Ce système d'hydrolyse pourrait donc être un outil pour sélectionner des variétés de pois ayant une bonne digestion *in vivo*. Cet outil nécessite d'être optimisé, pour maximiser les corrélations avec la digestibilité *in vivo*.

CONCLUSION

Les variations de digestibilité apparente des acides aminés de différentes variétés de pois dépelliculées sont dues à la fois à des différences de pertes endogènes et de la digestibilité vraie. Dans cette étude, l'excrétion endogène apparaît corrélée positivement à la teneur en sucres solubles et à l'activité antitrypsique, alors que la digestibilité vraie apparaît corrélée à certaines fractions protéiques majoritaires. Cette digestibilité vraie pourrait être prédite par un système d'hydrolyse *in vitro* utilisant l'action successive de la pepsine puis de la trypsine et de la chymotrypsine, pour sélectionner des variétés de pois présentant de bonnes digestibilités chez le poulet.

Remerciements

Ces travaux ont été financés par les programmes nationaux français Génoplante GOP-PeaC et GOP-PeaC2.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Baniel, A., Bertrand, D., Lelion, A., Guéguen, J., 1998. *Crop. Sci.* 38, 1568-1575.
- Bastianelli, D., Grosjean, F., Peyronnet, C., Duparque, M., Régner, J.M., 1998. *Anim. Sci.* 67, 609-619.
- Bolin, D. W., King, R. P. Klosterman, E. W., 1952. *Science* 116, 634-635.
- Carré, B., Bree, A., Gomez, J., 1994. *Reprod. Nutr. Develop.* 34, 617.
- Créviu, I., Carré, B., Chagneau, A. M., Guéguen, J., Melcion, J. P., 1997a. *J. Sci. Food Agric.* 75, 217-226.
- Créviu, I., Carré, B., Chagneau, A. M., Quillien, L., Guéguen, J. and Bérot, S., 1997b. *J. Agric. Food Chem.* 45, 1295-1300.
- Duc, G., Bertrand, D., Bourdon, D., Carré, B., Faurie, F., Gallant, D., Hess, V., Huart, M., Marget, P., Melcion, J.P., Moessner, A., Mousset-Declas, C., Sève, B., Thibault, J.F., Tisserand, J.L., 2001. In: *Proceeding of the 4th European Conference on Grain Legumes.* AEP (Pbs), 8-12 July 2001, Cracovie, Poland, pp. 84-85.
- Fuller, M.F., 1991. *In vitro* digestion for pigs and poultry. CAB International, Wallingford.
- Grosjean, F., Bastianelli, D., Bourdillon, A., Cerneau, P., Jondreville, C., Peyronnet, C., 1998. *Anim. Sci.* 67, 621-625.
- Grosjean, F., Barrier-Guillot, B., Bastianelli, D., Rudeaux, F., Bourdillon, A., Peyronnet, C., 1999. *Anim. Sci.* 69, 591-599.
- Hess, V., Thibault, J.N., Sève, B., 1998. *J. Nutr.* 128, 1969-1977.
- Hess, V., Ganier, P., Thibault, J. N., Sève, B., 2000. *Br. J. Nutr.* 83, 123-130.
- Huisman, J., Jansman, J.M., 1991. *Nutr. Abst. Rev. (B)*, 61, 901-921.
- Igbasan, F.A., Guenter, W., Slominski, B.A., 1997. *Can. J. Anim. Sci.* 77, 2, 293-300.
- Lahaye, L., Ganier, P., Thibault, J.N., Sève, B., 2004. *Anim. Feed Sci. Technol.* 113, 141-156.
- Le Gall, M., Quillien, L., Guéguen, J., Rogniaux, H., Sève, B., 2005. *J. Nutr.* 135, 1215-1222.
- Longstaff, M., McNab, J.M., 1991. *Br. J. Nutr.* 65, 199-216.
- Sève, B., Hess, V., 2000. In: *Garnsworthy, P.C. Wiseman, J. (Eds.), Recent Advances in Animal Nutrition.* Nottingham University Press, Nottingham, UK, pp. 167-181.
- Wiseman, J., Al-Mazooqi, W., Welham, T., Domoney, C., 2003. *J. Sci. Food Agric.* 83, 644-651.

**EFFETS DE L'INTERACTION ENTRE LA DURETE DES GRAINS
ET LE MODE DE PRESENTATION DU BLE SUR LA DIGESTION DE L'AMIDON
CHEZ LE POULET DE CHAIR**

Piron Fabien¹, Collin Cécile¹, Bodson Bernard², Théwis André¹, Beckers Yves¹

*Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux,
¹Unité de Zootechnie et ²Unité de Phytotechnie des Régions tempérées,
passage des Déportés, 2 B-5030 Gembloux (Belgique).*

RÉSUMÉ

Un essai est réalisé dans le but de comprendre les effets de l'interaction entre la dureté des grains et le mode de présentation du blé d'hiver (*Triticum aestivum* L.) sur la digestion de l'amidon par le poulet de chair. Il consiste en un bilan digestif (sans période de jeûn) qui s'est déroulé entre j 34 et j 38 sur 108 poulets mâles (Ross) répartis en 36 cages. Deux variétés de blé sont introduites à un taux de 60 % dans les rations : Deben (soft, dureté = 27) et Folio (hard, dureté = 82). La première modalité de présentation (Fin) correspond à du blé finement broyé (moulin à marteaux, grille de 2 mm). Le second mode d'introduction (Grossier) est relatif à du blé grossièrement broyé (moulin à marteaux, grille de 5 mm). Les animaux affectés à la troisième modalité (Entier) reçoivent le blé entier à raison de 10 % entre j 10 et j 17, 20 % de j 17 à j 24 et 30 % à partir de j 24.

Il n'est pas observé d'effet significatif de la dureté (variété), du mode de présentation ou de leur interaction sur les quantités d'amidon ingérées ($p > 0.05$). Par contre, la dureté (variété) interagit significativement ($p < 0.01$) avec la forme de présentation au niveau des quantités d'amidon excrétées et de sa digestibilité. Néanmoins, il n'est pas mis en évidence de différence au niveau des quantités d'amidon digérées ($p > 0.05$).

La digestibilité de l'amidon de Folio-Fin est significativement plus faible ($p < 0.05$) que celles des 5 autres traitements. De plus, pour Deben uniquement, la digestibilité de l'amidon de Entier est plus élevée ($p < 0.05$) que celle de Grossier. Par contre, la digestibilité de l'amidon ne diffère pas significativement entre Deben-Grossier et Folio-Grossier ($p > 0.05$). De même, les digestibilités de l'amidon de Deben-Entier et Folio-Entier ne sont pas significativement différentes ($p > 0.05$).

En conclusion, la mouture fine (2 mm) de la variété Folio (hard) entraîne une diminution de la digestibilité de l'amidon.

ABSTRACT

This study investigates the effect of interaction between hardness of grains and modality of wheat (*Triticum aestivum* L.) presentation on starch digestion in broiler chickens. A digestive trial (without starvation) was conducted (d 34 to d 38) with 108 chickens (Ross) divided in 36 groups. Two varieties of wheat were included at 60 % in diets: Deben (soft, hardness = 27) and Folio (hard, hardness = 82). The first modality of presentation (Fine) corresponded to finely milled wheat (hammer mill, sieve of 2 mm). The second (Coarse) was related to coarsely milled wheat (hammer mill, sieve of 5 mm). The third dietary treatment (Whole) corresponded to 10 % whole wheat between d 10 to d 17, 20 % from d 17 to d 24 and 30 % after d 24.

Hardness (varieties), modalities of presentation and their interaction did not influence ingested starch ($p > 0.05$). Hardness interacted significantly ($p < 0.05$) with presentation of wheat on excreted starch and starch digestibility. But quantities of digested starch were not significantly different between the six treatments ($p > 0.05$).

The starch digestibility of Folio-Fine was significantly ($p < 0.05$) lower than five other treatments. Moreover, starch digestibility of Whole was ($p < 0.05$) better than Coarse for Deben only. On the other hand, starch digestibility was not significantly different between Deben-Coarse and Folio-Coarse ($p > 0.05$). Similarly, starch digestibility of Deben-Whole was not significantly different than Folio-Whole ($p > 0.05$).

In conclusion, fine milling (2 mm) of hard variety (Folio) was involved in reduction of starch digestibility.

INTRODUCTION

La dureté traduit l'état de cohésion du grain de blé (Mahaut, 1993). Elle intervient sur la qualité technologique des farines (endommagement de l'amidon, granulométrie, hydratation...) et sur le comportement du grain au broyage (Turnbull et Rahman, 2002). De plus, c'est un paramètre mesurable facilement, rapidement et à faible coût par spectrométrie infrarouge (Rose et al., 2001). Chez le poulet nourri à base de blé, elle peut avoir un impact sur les performances et la digestion (Carré et al., 2003, Skiba et al., 2003 et Carré et al., 2005).

D'autre part, le type de présentation des grains (broyés ± finement vs. entiers) et de la ration (granulée ou non) peut influencer sur les processus digestifs de l'amidon chez le poulet (Svihus, 2001, Hetland et al., 2002, Carré, 2004 et Péron et al., 2005).

Dans le cadre de la compréhension des processus digestifs chez le poulet, il est généralement difficile de séparer l'effet direct de la dureté des grains et celui de la granulométrie après broyage au moulin. En effet, ce dernier paramètre est ordinairement corrélé à la dureté (Carré, 2000). Une première manière d'étudier distinctement l'effet direct de la dureté consiste à adapter les paramètres de mouture afin de stabiliser les granulométries obtenues avec des blés de dureté variable (Carré et al., 2003 et Carré et al., 2005).

Une autre méthodologie peut consister à étudier la manière dont interagissent le mode de présentation des grains de blé (broyage ± fin, grains partiellement introduits entiers) et leur dureté sur les processus digestifs. L'objectif de ce travail est de contribuer à mieux comprendre l'impact de cette interaction sur la digestion de l'amidon par le poulet de chair.

1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

108 poulets mâles (Ross 308) sont répartis en 36 cages (disposées en batterie) pour former un dispositif comprenant 6 traitements (3 présentations x 2 duretés) et 6 répétitions. Cette expérience est approuvée, sous la référence *fusagx 05/06*, par le comité d'éthique compétent.

Le régime alimentaire (à partir de j 10) est constitué de 60.0 % de blé, 20.7 % de tourteau de soja 46, 6.9 % de graines de soja toastées, 7.2 % d'huile de soja et d'acides aminés de synthèse, minéraux et vitamines. Les rations ne sont pas granulées et sont distribuées *ad libitum*.

La première forme de présentation (Fin) correspond à du blé entièrement broyé à l'aide d'un moulin à marteaux (type I-A de Gladiator) équipé d'une grille dont les mailles circulaires ont un diamètre de 2 mm. La seconde présentation (Grossier) est relative à du blé entièrement broyé (moulin à marteaux, grille de 5

mm). Les animaux affectés à la troisième modalité de présentation (Entier) reçoivent du blé entier à raison de 10 % (de la ration totale) entre j 10 et j 17, 20 % de j 17 à j 24 et 30 % à partir de j 24. Dans le cas du traitement Entier, le solde du blé est broyé au moulin à marteaux à la grille de 2 mm.

La variation du facteur dureté est obtenue grâce à l'emploi de deux lots de blé d'hiver (*Triticum aestivum* L.). Il s'agit des variétés Deben et Folio cultivées dans les mêmes conditions (à B-5030 Loncée) et récoltées en 2005. Ces deux lots ont été choisis (parmi 7 lots disponibles et cultivés dans des conditions similaires) sur la base de leurs principales caractéristiques physico-chimiques : dureté, teneurs en matières azotées totales et en amidon, viscosités des extraits aqueux.

Un bilan digestif est réalisé (suivant Bourdillon et al., 1990) entre j 34 et j 38. Néanmoins, comme le suggèrent Péron et al. (2005), les animaux ne sont pas soumis aux deux périodes de jeûn. Les aliments distribués et les refus collectés en fin de bilan sont quantifiés. Leurs teneurs en matière sèche sont déterminées. Les fientes sont collectées quotidiennement, congelées, lyophilisées, quantifiées et cumulées. Les aliments, les refus et les fientes sont alors broyés (P 14 de Fritsch, grille de 0.5 mm) et leurs teneurs en amidon sont déterminées.

Les teneurs en matière sèche (MS) et en matières azotées totales (MAT = 6.25 x N) sont mesurées suivant l'AOAC (1990). Les teneurs en amidon sont dosées suivant une méthode adaptée (quantités engagées et volumes des solutions) de McCleary et al. (1997). La dureté des grains est mesurée par SPIR (d'après Mahaut, 1993 et Bollen et al., 1996), après standardisation des grains à 15.5 % d'humidité et mouture (Cyclotec 1093 de Foss-Tecator équipé d'une grille de 1 mm). La viscosité des extraits aqueux des blés est appréciée par les viscosités utiles potentielle (VUP) et réelle (VUR) mesurées selon Carré et al. (1994).

Afin de rendre les populations normales (test de Anderson-Darling, Minitab 13.20) et de contribuer à stabiliser les variances (Dagnelie, 1998), les résultats sont transformés suivant la relation :

$$Y = \log(-\log(X/100)).$$

Les variables transformées sont traitées statistiquement par la procédure GLM (Minitab 13.20) suivant un modèle croisé à 3 critères de classification qui peut s'écrire :

$Y_{ijkl} = D_i + F_j + DF_{ij} + b_k + Db_{ik} + Fb_{jk} + DFb_{ijk} + e_{ijkl}$.
 D_i représente l'effet de la dureté, F_j symbolise celui de la forme de présentation et DF_{ij} représente l'interaction de ces deux facteurs. Le facteur bloc (b_k) est aléatoire.

Les moyennes transformées significativement différentes sont structurées ($p < 0.05$) à l'aide du test de Newman et Keuls (Dagnelie, 1998). Elles sont présentées non transformées et accompagnées de leurs erreurs standards (SEM) observées sur les valeurs non transformées.

2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

2.1. Physico-chimie des 2 lots variétaux de blé

Les deux lots variétaux de blé diffèrent fortement au niveau de la dureté des grains (tableau 1). Deben, qui peut être qualifié de soft, est nettement plus tendre que Folio (qui peut être qualifié de hard). La dureté est, en effet, un critère principalement sous influence génétique (Rose et al., 2001).

Malheureusement, une différence apparaît également au niveau de la teneur en protéines (MAT). En effet, pour les 7 lots disponibles, la dureté a tendance à être corrélée à la teneur en MAT ($r = 0.72$, $p = 0.066$). Skiba et al. (2003) et Carré et al. (2002) observent également une corrélation élevée entre ces deux paramètres. La différence de teneurs en MAT des blés a notamment pour conséquence que le régime préparé avec Folio est légèrement plus riche en protéines que celui préparé avec Deben (21.6 vs. 20.9 % MS).

Compte tenu de la relativement faible sensibilité de la digestion de l'amidon aux variations de viscosité (Carré et al., 2002 et Carré, 2004), la différence de VUR qui est observée entre les deux lots de blé (tableau 1) peut être considérée comme relativement négligeable, dans le cadre de cette étude.

Tableau 1. Caractéristiques des 2 lots de blé.

		Deben	Folio
Dureté		27	82
MAT	% MS	11.5	12.7
Amidon	% MS	67	65
VUP	ml/g MS	5.5	5.4
VUR	ml/g MS	2.8	3.4

2.2. Digestibilités fécales de l'amidon

Une observation (Folio – Fin) est retirée car un des trois animaux présents dans la cage a perdu du poids au cours du bilan (gain moyen quotidien = - 2.5 g/j). Son ingestion et sa digestion risqueraient, par conséquent, d'être anormales.

De manière similaire aux observations de Svihus et Hetland (2001), les quantités d'amidon excrétées par les différents groupes d'animaux sont caractérisées par des variabilités relativement importantes (tableau 2) et numériquement très peu homogènes. En effet, les SEM relatives à la variété hard (Folio) sont numériquement plus élevées que celles relatives à l'endosperme soft (Deben). De plus, l'excrétion d'amidon ne suit pas une distribution normale ($A^2 = 1.91$, $p < 0.001$, $n = 35$).

La non normalité de l'excrétion de l'amidon ne se répercute pas sur le flux d'amidon digéré mais entraîne, néanmoins, la non normalité du pourcentage de digestibilité ($A^2 = 1.53$, $p = 0.001$, $n = 35$). De même, les variances relatives au pourcentage de digestibilité (figure 1) sont numériquement peu homogènes (tableau 2). Néanmoins, après

transformation, les valeurs ne se distinguent plus ($p > 0.10$) d'une distribution normale. Les variances sont également plus stables.

A ce sujet, Carré (2004) note que, chez le poulet, la digestibilité de l'amidon du blé est caractérisée par une relativement grande variabilité interindividuelle. Rogel et al. (1987) et Choct et al. (1999) observent qu'une plus grande variabilité est associée aux moyennes les moins favorables. Cela pourrait indiquer que les poulets n'ont pas tous la même capacité à digérer l'amidon (Svihus et Hetland, 2001), notamment en situation plus difficile.

Il n'est pas observé (tableau 2) d'effet significatif de la dureté (variété), du mode de présentation ou de leur interaction sur les quantités d'amidon ingérées ($p > 0.05$). Par contre, la dureté (variété) interagit significativement ($p < 0.01$) avec la forme de présentation au niveau des quantités d'amidon excrétées et de sa digestibilité (tableau 2). Néanmoins, comme le montre le tableau 2, il n'est pas mis en évidence de différence significative au niveau des quantités d'amidon digérées ($p > 0.05$).

La digestibilité de l'amidon des grains hard (Folio) broyés finement (moulin à marteaux, grille de 2 mm) est significativement plus faible ($p < 0.05$) que celles relatives aux grains de cette variété broyés grossièrement (moulin à marteaux, grille de 5 mm) ou introduits partiellement sous forme entière (tableau 2). Cette moindre digestibilité est associée à une excrétion plus importante ($p < 0.05$) d'amidon (tableau 2).

Par contre, Péron et al. (2005) observent une augmentation de la digestibilité de l'amidon d'un blé hard lorsqu'il est broyé finement par rapport à un broyage grossier (2 vs. 6 mm). Ces observations divergentes pourraient peut-être résulter du fait que les rations utilisées par Péron et al. (2005) sont granulées, contrairement à celles de cette expérience. En outre, ces derniers auteurs ont effectué leurs mesures sur des animaux plus jeunes (entre j 20 et j 24) que ceux employés pour nos mesures de digestibilité (de j 34 à j 38).

La digestibilité de l'amidon (tableau 2) de la variété Folio (hard) est significativement plus faible ($p < 0.05$) que celle relative à Deben (soft) lorsque ces deux blés sont broyés finement (moulin à marteaux, grille de 2 mm). Il semble donc que la dureté ait une influence ($p < 0.05$) sur la digestibilité de l'amidon lorsque les grains sont broyés finement (2 mm). De même, Carré et al. (2002) mesurent, sur des grains broyés à 3 mm, une corrélation négative et significative entre la dureté et la digestibilité de l'amidon.

Cet effet négatif de la dureté sur la digestibilité de l'amidon, lorsque les grains sont broyés finement, pourrait être la conséquence de la production par les grains hard (lors du broyage dans un moulin), de particules dont l'amidon serait moins accessible que celui des grains soft (Carré, 2000, Carré et al., 2002 et Carré, 2004).

Néanmoins, cet effet de la dureté n'est plus mis en évidence lors du broyage sur la grille de 5 mm ($p > 0.05$, tableau 2). En présence de particules plus grossières, le gésier est peut-être plus développé. Il serait alors capable de désagréger efficacement ces particules plus grossières. Par contre, dans le cas des moutures plus fines, le gésier est peut-être trop peu développé pour jouer pleinement son rôle. En effet, selon Hetland et al. (2002), un accroissement de la taille de cet organe est associé à une augmentation de la digestibilité de l'amidon. D'autre part, la vidange du gésier est sélective sur la taille et la plasticité des particules et ne laisserait passer directement (sans allongement significatif du temps de séjour) que celles de moins de 0.5 à 1.5 mm (Ferrando et al., 1987). Par conséquent, les particules broyées à la grille de 5 mm, ou du moins les plus grosses d'entre elles, sont certainement soumises plus intensément à l'action mécanique du gésier que celles issues de la mouture à 2 mm (Carré, 2000). Outre l'action mécanique plus importante du gésier, une meilleure digestion pepsique de la matrice protéique qui entoure les granules d'amidon ainsi qu'une meilleure régulation du transit gastro-intestinal peuvent également être évoquées (Carré, 2000 et Carré, 2004).

Contrairement à la variété hard, la digestibilité de l'amidon des grains soft (Deben) broyés finement ne se différencie pas significativement ($p > 0.05$) des deux autres modalités de présentation des grains soft (tableau 2). Néanmoins, le broyage grossier (5 mm) de Deben (soft) est associé à une digestibilité plus faible ($p < 0.05$) que celle relative à l'introduction partielle de grains entiers de même dureté (tableau 2). Chez les blés soft, l'amidon et les protéines sont contenus dans une matrice relativement friable et sont plus facilement séparés que dans le cas de blé hard (Wiseman, 2006). D'après ce dernier auteur, la rapidité d'hydratation des matrices soft pourrait contribuer à en expliquer la meilleure digestion. Enfin, lorsque les grains sont partiellement introduits sous forme entière (tableau 2), la variété soft ne se différencie pas significativement ($p > 0.05$) de Folio (hard). Cette observation tend à montrer que la dureté a peu d'influence sur les processus digestif lorsque les grains sont partiellement présentés entiers. L'ingestion de grains entiers entraîne classiquement un développement plus important du gésier (Carré, 2000, Hetland et al., 2002 et Piron et al., 2006) et elle peut donc être associée à une meilleure digestibilité de l'amidon (Hetland et al., 2002).

Tableau 2. Quantités d'amidon ingérées, excrétées et digérées (g/j/poulet) et digestibilités (%) de l'amidon^{1,2}.

	Deben (soft)			Folio (hard)			Dureté ³	Forme ³	D x F ³
	Fin	Grossier	Entier	Fin	Grossier	Entier			
Ingéré	39.6	44.3	45.1	44.9	40.5	44.8	NS	NS	NS
SEM	± 1.9	± 2.0	± 2.1	± 1.8	± 1.6	± 2.1			
Excrété	1.0 ^b	1.3 ^b	0.6 ^b	2.4 ^a	1.1 ^b	1.1 ^b	NS	***	**
SEM	± 0.1	± 0.2	± 0.1	± 0.4	± 0.3	± 0.5			
Digéré	38.6	42.9	44.5	42.5	39.4	43.7	NS	NS	NS
SEM	± 1.9	± 1.9	± 2.1	± 1.9	± 1.3	± 2.0			
Digestibilités	97.4 ^{ab}	97.0 ^b	98.6 ^a	94.6 ^c	97.4 ^{ab}	97.7 ^{ab}	NS	***	**
SEM	± 0.4	± 0.3	± 0.2	± 0.9	± 0.6	± 1.0			

¹: les moyennes ± SEM présentées sont les valeurs observées non transformées ; ²: n = 35 ; ³: les tests sont réalisés sur les valeurs après la transformation $y = \log(-\log(x/100))$; ^{a,b,c}: les valeurs affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes après transformation ($p > 0.05$) ; *** : $p < 0.001$; ** : $p < 0.01$; NS : $p > 0.05$.

CONCLUSIONS

La digestibilité de l'amidon du blé et son excrétion par le poulet de chair sont influencées par l'interaction de la dureté avec la modalité de présentation des grains de blé ($p < 0.01$).

La mouture fine (2 mm) de la variété Folio (hard) entraîne une diminution significative de la digestibilité de l'amidon ($p < 0.05$).

Il est également observé que la variabilité de la digestibilité et celle de l'excrétion de l'amidon par le poulet sont numériquement plus importantes dans le cas du blé hard par rapport au blé soft.

REMERCIEMENTS

Ce travail de recherche est financé par la Direction Générale de l'Agriculture du Ministère de la Région wallonne. Nous remercions R. Vanderbeck pour son assistance technique. Les mesures infrarouges de dureté du blé ont été réalisées par le Centre wallon de Recherches Agronomiques (Département Qualité des Productions Agricoles).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AOAC, 1990. Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, VA.
- Bollen, L., Dubois, A., Biston, R., Deroanne, C., 1996. Phytotechnie et qualités technologiques du froment. Ministère des Classes Moyennes et de l'Agriculture, Bruxelles. p. 159.
- Bourdillon, A., Carré, B., Conan, L., Duperray, J., Huyghebaert, G., Leclercq, B., Lessire, M., McNab, J., Wiseman, J., 1990. Br. Poult. Sci. 31:557-565.
- Carré, B., 2000. INRA Prod. Anim. 13:131-136.
- Carré, B., 2004. World's Poult. Sci. J. 60:76-89.
- Carré, B., Gomez, J., Melcion, J. P., Giboulot, B., 1994. INRA Prod. Anim. 7:369-379.
- Carré, B., Idi, A., Maisonnier, S., Melcion, J.-P., Oury F.-X., Gomez, J., Pluchard, P., 2002. Br. Poult. Sci. 43:404-415.
- Carré, B., Muley, N., Gomez, J., Oury F.-X., Laffitte, E., Guillou, D., Signoret, C., 2005. Br. Poult. Sci. 46:66-74.
- Carré, B., Muley, N., Guillou, D., Signoret, C., Oury F.-X., Gomez, J., 2003. 5° Journées de la Recherche Avicoles, Tours, 26 et 27 mars.
- Choct, M., Hughes, R. J., Bedford, M. R., 1999. Br. Poult. Sci. 40:419-422.
- Dagnelie, P., 1998. Statistique théorique et appliquée. Tome 2. De Boeck et Larcier, Bruxelles.
- Ferrando, C., Vergara, P., Jiménez, M., Goñalons, E., 1987. Quartely J. Exp. Physiol. 72:251-259.
- Hetland, H., Svihus, B., Olaisen, V., 2002. Br. Poult. Sci. 43:416-423.
- Mahaut, B., 1993. Industries des Céréales. Janv.-Fév.-Mars : 39-44.
- McCleary, B. V., Gibson, T. S., Mugford, D. C., 1997. J. Assoc. Anal. Chem 80:571-579.
- Péron, A., Bastianelli, D., Oury, F.-X., Gomez, J., Carré, B., 2005. Br. Poult. Sci. 46:223-230.
- Piron F., Philippart de Foy M., Théwis A., Beckers Y., 2006. 7° Journées de la Recherche Avicoles, Tours, 28 et 29 mars.
- Rogel, A. M., Annison, E. F., Bryden, W. L., Balnave, D., 1987. Aust. J. Agric. Res. 38:639-649.
- Rose, S. P., Tucker, L. A., Kettlewell, P. S., Collier, D. A., 2001. J. Cereal Chem. 34:181-190.
- Skiba, F., Barrier-Guillot, B., Métayer, J.-P., 2003. 5° Journées de la Recherche Avicoles, Tours, 26 et 27 mars.
- Svihus, B., 2001. Anim. Feed Sci. Tech. 92:45-49.
- Svihus, B., Hetland, H., 2001. Br. Poult. Sci. 42:633-637.
- Turnbull, K.-M., Rahman, S., 2002. J. Cereal Sci. 36:327-337.
- Wiseman, J., 2006. Anim. Feed Sci. Tech. 130:66-77.

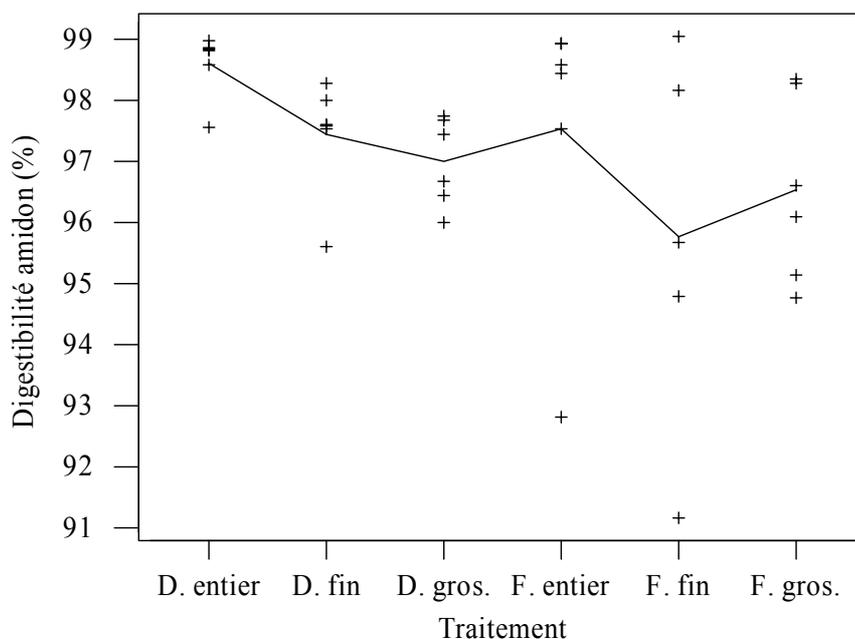


Figure 1. Effets de la variété (D : Deben = soft ; F : Folio = hard) et du mode de présentation du blé (broyage fin, broyage grossier et grains partiellement entiers) sur la digestibilité (%) de l'amidon du blé chez le poulet : valeurs relatives à chaque cage (+) et moyennes (reliées par le trait).

COMPARAISON DE QUATRE MODALITES DE PRESENTATION DU BLE CHEZ LE POULET DE CHAIR

Piron Fabien, Philippart de Foy Martin, Théwis André, Beckers Yves

*Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux (Unité de Zootechnie),
passage des Déportés, 2 B-5030 Gembloux (Belgique).*

RÉSUMÉ

L'influence de quatre modalités de présentation du blé (*Triticum aestivum* L.) sur les performances zootechniques et l'anatomie du tube digestif et des organes annexes a été mesurée sur 792 poulets mâles (Ross). La variété de blé est Meunier. Le premier traitement (Broyé) correspond à du blé broyé (moulin à marteaux, grille de 3 mm). Le second traitement (Aplati) est relatif à du blé aplati. Les animaux affectés au troisième traitement (Entier Précoce) reçoivent le blé entier à raison de 10 % du régime la première semaine de mesure (j 10 à j 17), 20 % la seconde (j 17 à j 24) et 30 % dès la troisième (à partir de j 24). Les poulets du dernier traitement (Entier Tardif) sont alimentés de la même manière, mais avec un décalage d'une semaine (10 % de j 17 à j 24, 20 % de j 24 à j 31 et 30 % par la suite).

Broyé est significativement ($p < 0.05$) moins ingéré que les autres formes dès la seconde semaine de mesure (à partir de j 17). Dès la semaine comprise entre les jours 17 et 24, les GMQ mesurés avec Aplati sont ($p < 0.05$) plus élevés que ceux relatifs à Entier Précoce et Entier Tardif. À partir de la semaine suivante (j 24 à 31), les GMQ mesurés avec Aplati sont également ($p < 0.05$) plus élevés que ceux de Broyé.

Sur l'ensemble de l'essai, les IC cumulés de Entier Précoce ou Tardif (30 % de grains entiers *in fine*) sont plus élevés ($p < 0.05$) que ceux de Broyé et Aplati, qui ne se différencient pas entre eux ($p > 0.05$). Dans le cas des deux schémas graduels d'introduction du grain entier employés dans cet essai, les IC hebdomadaires sont ($p < 0.05$) plus élevés que Broyé, à partir d'un taux de 20 % de grains entiers.

Les poulets nourris au blé entier possèdent ($p < 0.05$) un gésier proportionnellement plus lourd que ceux recevant Broyé ou Aplati. Par contre, le régime Aplati ne se différencie pas ($p > 0.05$) du régime Broyé au niveau du poids relatif du gésier.

ABSTRACT

This study investigated the influence of four modalities of wheat (*Triticum aestivum* L.) presentations on the performances and digestive tract characteristics of broilers (Ross). The variety of wheat was Meunier. The first dietary treatment (Milled) corresponded to milled wheat (hammer mill, sieve of 3 mm). The second treatment (Rolled) was related to rolled wheat. The third dietary treatment (Whole-Advanced) corresponded to 10 % whole wheat for first week of study (d 10 to d 17), 20 % whole wheat for second week of study (d 17 to d 24) and 30 % after d 24. The fourth treatment (Whole-Belated) was similar to the third, except a delay equals to 1 week (10 % for d 17 to d 24, 20 % for d 24 to d 31 and 30 % after d 31).

Except for the first week of study, intake of Milled was inferior ($p < 0.05$) to other treatments. From the second week (between d 17 and d 24), growth related to Rolled was higher ($p < 0.05$) than two whole wheat treatments. From the third week (between d 24 and d 31), growth related to Rolled was also higher ($p < 0.05$) than Milled.

Cumulated feed conversion ratio (FCRc) of Milled and Rolled was better ($p < 0.05$) than FCRc of whole wheat treatments (30 % of whole grain *in fine*). With this two whole wheat incorporation schemes, 20 or 30 % of whole grain was superior ($p < 0.05$) to Milled for FCR.

The gizzards of broilers related to whole wheat were proportionally heavier ($p < 0.05$) than gizzards associated to Milled or Rolled. Rolled was not different ($p > 0.05$) from Milled for weights of gizzards.

INTRODUCTION

Dans le sud de la Belgique, le blé d'hiver (*Triticum aestivum* L.) est actuellement la céréale de choix pour l'alimentation du poulet de chair. En effet, sa culture y est très répandue et il peut représenter une part prépondérante du régime. En fonction de son prix, de nombreux aviculteurs céréaliers peuvent incorporer directement le blé de leurs propres cultures à un pré-mélange commercial pour constituer le régime de leurs poulets.

En cas d'autoconsommation, il existe plusieurs modes possibles de présentation du blé dans les rations des poulets de chair (entier, aplati, broyé plus ou moins finement...). Toutefois, la confection des régimes au sein même des exploitations, rend difficilement envisageable leur granulation. De tels mélanges sont donc classiquement distribués en l'état.

Dans ce cadre, ce travail vise à comparer les effets de quatre modalités de présentation du blé sur les performances zootechniques du poulet de chair et sur l'anatomie de son tube digestif. Le premier objectif est de comparer deux schémas progressifs d'introduction de grains entiers par rapport au grain broyé. Le second objectif consiste à évaluer l'impact de l'aplatissage des grains de blé par rapport au broyage.

En effet, l'aplatissage génère une granulométrie particulière plus grossière que le broyage à l'aide d'un moulin à marteaux (Svihus et al., 2004 b). D'autre part, l'aplatissage consiste en l'écrasement de l'amande mais ne modifie que faiblement les enveloppes fibreuses du grain. Des études récentes (Hetland et Svihus, 2001 et Hetland et al., 2003) laissent penser que ces enveloppes fibreuses pourraient avoir un effet bénéfique sur les processus digestifs.

1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

792 poussins mâles d'un jour (Ross 308) sont répartis dans un bâtiment de 24 parquets (33 animaux / cage) pour former un dispositif en blocs aléatoires (6 blocs x 4 traitements). Cette expérience est approuvée, sous la référence *fusagx 03/03*, par le comité d'éthique compétent.

Le blé employé dans cet essai provient du négoce et appartient à la variété Meunier. Il est notamment caractérisé par une dureté de 94. La dureté est mesurée par SPIR (d'après Mahaut, 1993 et Bollen et al., 1996), après standardisation des grains à 15.5 % d'humidité et mouture (Cyclotec 1093 de Foss-Tecator, grille de 1 mm). D'autre part, la viscosité utile potentielle vaut 5.3 ml/g MS et la viscosité utile réelle est égale à 3.0 ml/g MS (mesurées selon Carré et al., 1994).

Du premier au dixième jour, tous les animaux reçoivent le même régime « démarrage » (44.4 % de blé, 30.1 % de tourteau de soja 48, 10.0 % de maïs, 7.0 % d'huile de soja, acides aminés, minéraux et vitamines). Le blé qui le constitue est broyé au moulin à marteaux (type I-A de Gladiator) équipé d'une grille dont les mailles circulaires ont un diamètre de 3 mm.

Du jour 10 au jour 49, les animaux reçoivent les régimes expérimentaux. Ils sont tous constitués de 50.0 % de blé, de 22.6 % de tourteau de soja 48, de 5.0 % de graines de soja toastées, de 10.3 % de maïs, de 7.0 % d'huile de soja, d'acides aminés, de minéraux et de vitamines.

Ces ingrédients sont mélangés (mélangeuse horizontale à rubans MR 205 de marque Lessines Industries) pour former les régimes qui ne sont pas granulés et qui sont distribués *ad libitum*.

Le premier traitement (Broyé) correspond à du blé broyé (moulin à marteaux, grille de 3 mm). Le second traitement (Aplati) est relatif à du blé aplati (aplatisseur à rouleaux lisses et tournant à la même vitesse, de marque Van Melle). Les animaux affectés au troisième traitement (Entier Précoce) reçoivent le blé entier à raison de 10 % (du régime) durant la première semaine de mesure (j 10 à j 17), 20 % la seconde (j 17 à j 24) et 30 % dès la troisième (à partir de j 24). Les poulets du quatrième traitement (Entier Tardif) reçoivent également du blé entier, mais avec un décalage d'une semaine dans le schéma d'introduction du grain entier (10 % de j 17 à j 24, 20 % de j 24 à j 31 et 30 % par la suite). Dans les deux derniers cas (Entier Précoce et Tardif), le solde du blé est broyé (moulin à marteaux, grille de 3 mm).

L'ingestion des animaux (matière sèche) est quantifiée chaque semaine (j 17, j 24, j 31 et j 38) par parquet (n = 24). Les poulets sont pesés individuellement à 10, 17, 24, 31 et 38 jours. Ces données permettent de calculer, pour chaque période, les gains moyens quotidiens (GMQ) individuels et les indices de consommation (IC) correspondants (par parquet).

Entre 42 et 49 jours, 3 poulets par parquets sont aléatoirement choisis, pesés, puis euthanasiés (injection intracardiaque de Nembutal®). Le tractus digestif est prélevé et divisé. Le proventricule, le gésier et l'intestin grêle sont pesés pleins et vides. Le foie et le pancréas sont également pesés. Enfin, les valeurs de pH des contenus de gésier sont déterminées (électrode gélifiée).

Les résultats sont traités statistiquement par la procédure du Modèle Linéaire Généralisé (Minitab 13.20) suivant un modèle croisé à 2 critères de classification qui peut s'écrire :

$$Y_{ijk} = M_i + b_j + Mb_{ij} + e_{ijk}.$$

M_i symbolise l'effet du mode de présentation. Le facteur bloc (b_j) et l'interaction sont aléatoires. Les moyennes significativement différentes sont structurées ($p < 0.05$) à l'aide du test de Newman et Keuls (Dagnelie, 1998).

2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

2.1. Performances zootechniques

Le tableau 1 reprend les ingestions moyennes mesurées par poulet (g MS/j/animaux), au cours de chaque semaine, selon le mode de présentation du blé. Broyé est significativement ($p < 0.05$) moins ingéré que les autres formes dès la seconde semaine de mesure (à partir de j 17). La même observation (tableau 1) est faite sur l'ensemble de l'essai (de j 10 à j 38). Au niveau de l'ingestion, les régimes contenant le grain entier ne diffèrent pas entre eux ($p > 0.05$).

Le régime contenant le blé aplati a une texture plus grossière (granulométries non montrées) par rapport à Broyé. Cette apparence plus grossière peut contribuer à expliquer l'ingestion supérieure de ce régime. En effet, les volailles préfèrent les particules de plus grande taille (Picard et al., 2000).

L'ingestion supérieure des régimes qui contiennent du grain entier est également observée par Yasar (2003). Par contre, Svihus et al. (2004 a) n'observent pas de différence ($p > 0.05$) et Plavnik et al. (2002) constatent une diminution de l'ingestion ($p < 0.05$). Comme l'ont notamment mis en évidence Wu et Ravindran (2004), ces observations sont contradictoires. Le délai d'adaptation laissé aux volailles, des différences au niveau des taux d'introduction des grains entiers, de l'âge des animaux et/ou la granulation éventuelle de la ration ou du complémentaire peuvent certainement contribuer à expliquer ces divergences (Yasar, 2003 et Bennett et al., 2002).

Tableau 1. Ingestions (g MS/j/poulet) des régimes¹.

Période (j)	Broyé	Aplati	Tardif	Précoce	SEM	p
10 à 17	54.6	54.0	53.7	55.2	0.6	NS
17 à 24	85.0 ^b	90.5 ^a	89.4 ^a	91.7 ^a	1.2	*
24 à 31	120.1 ^b	126.1 ^a	126.7 ^a	129.4 ^a	1.4	**
31 à 38	153.3 ^b	159.6 ^a	161.6 ^a	166.4 ^a	1.4	**
10 à 38	103.2 ^b	107.5 ^a	107.8 ^a	110.7 ^a	1.0	**

^{a,b} : dans une même ligne, les valeurs affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes ($p > 0.05$) ; ¹ : n = 24 ; NS : $p > 0.05$; * : $p < 0.05$ et ** : $p < 0.01$.

Dès la seconde semaine de l'essai (17 à 24 jours), les GMQ mesurés avec Aplati sont significativement ($p < 0.05$) plus élevés que ceux relatifs à Entier Tardif et Entier Précoce (tableau 2). À partir de la semaine suivante (j 24 à 31), les GMQ hebdomadaires mesurés avec Aplati sont aussi significativement ($p < 0.05$) plus élevés que ceux de Broyé (tableau 2). La même réponse est observée au niveau des GMQ cumulés du jour 10 au jour 38 (tableau 2).

Bennett et al. (2002) observent une diminution ($p < 0.05$) de la croissance lorsque le blé entier atteint 20 % du régime (de 6 à 13 jours) mais l'effet ne

s'observe plus sur les animaux plus âgés, même nourris avec des taux plus élevés de grains entiers (jusque 65 % à j 27). De même, Yasar (2003) n'observe pas de différence de vitesse de croissance ($p > 0.05$) entre un régime à base de blé broyé finement et un autre contenant 50 % de grains entiers. Ces deux études confirment l'absence de différence que nous observons entre Broyé et les deux modalités Entier.

Par contre, Yasar (2003) mesure une augmentation de la croissance lorsque le blé est broyé grossièrement (grille de 7 mm) par rapport à une mouture plus fine (4 mm). Cette dernière observation peut être rapprochée des GMQ que nous mesurons avec Aplati dont la texture est relativement grossière (granulométries non montrées).

Tableau 2. Gains moyens quotidiens (g/j/poulet)¹.

Période (j)	Broyé	Aplati	Tardif	Précoce	SEM	p
10 à 17	38.6	39.9	38.9	38.8	0.3	NS
17 à 24	65.4 ^{ab}	67.9 ^a	63.6 ^b	63.7 ^b	0.4	*
24 à 31	84.2 ^b	91.6 ^a	83.9 ^b	85.4 ^b	0.6	**
31 à 38	99.1 ^b	105.8 ^a	98.1 ^b	100.5 ^b	0.7	**
10 à 38	71.8 ^b	76.4 ^a	71.1 ^b	72.1 ^b	0.4	**

^{a,b} : dans une même ligne, les valeurs affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes ($p > 0.05$) ; ¹ : mesurés individuellement ; NS : $p > 0.05$; * : $p < 0.05$ et ** : $p < 0.01$.

Les indices de consommation des régimes (exprimés en matière sèche) sont présentés au tableau 3. Énoncée en matière fraîche, leur moyenne (1.68 g MF/g) correspond aux objectifs de performances annoncés par Aviagen, pour les mâles Ross 308, de 10 à 38 jours (1.69 g MF/g).

Tableau 3. Indices de consommation (g MS/g)¹.

Période (j)	Broyé	Aplati	Tardif	Précoce	SEM	p
10 à 17	1.43	1.36	1.40	1.43	0.03	NS
17 à 24	1.30 ^b	1.34 ^{ab}	1.40 ^{ab}	1.44 ^a	0.02	*
24 à 31	1.43 ^b	1.38 ^b	1.51 ^a	1.52 ^a	0.02	**
31 à 38	1.55 ^b	1.52 ^b	1.65 ^a	1.66 ^a	0.02	*
10 à 38	1.44 ^b	1.41 ^b	1.52 ^a	1.54 ^a	0.02	**

^{a,b} : dans une même ligne, les valeurs affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes ($p > 0.05$) ; ¹ : n = 24 ; NS : $p > 0.05$; * : $p < 0.05$ et ** : $p < 0.01$.

Durant la première semaine de l'essai (j 10 à 17), il n'est pas observé (tableau 3) de différence significative ($p > 0.05$) entre l'IC hebdomadaire du traitement Précoce (10 % de grains entiers) et celui de Broyé (0 % de grains entiers). Par contre (tableau 3), durant la seconde période (j 17 à 24), l'IC hebdomadaire de Précoce (20 % de grains entiers) est significativement ($p < 0.05$) plus élevé que celui

correspondant à Broyé. De plus, à partir de la troisième semaine (j 24 à 31), les IC hebdomadaires de Précoce (30 % de grains entiers) et de Tardif (20 % de grains entiers) ne diffèrent plus ($p > 0.05$) entre eux et sont plus élevés ($p < 0.05$) que les IC hebdomadaires correspondants mesurés sur Broyé (tableau 3). Enfin, la même réponse est observée durant la quatrième semaine (j 31 à 38).

Sur l'ensemble de l'essai, les IC cumulés de Entier Précoce et Entier Tardif (30 % de grains entiers *in fine*) ne diffèrent pas ($p > 0.05$) entre eux et sont dégradés ($p < 0.05$) par rapport à Broyé (tableau 3).

Au niveau des IC hebdomadaires et cumulés, Aplati ne se différencie pas significativement ($p > 0.05$) de Broyé (tableau 3).

Dans le cas précis des schémas graduels d'introduction du grain entier employés dans cet essai, c'est donc à partir d'un taux de 20 % de grains entiers (c'est à dire durant la semaine débutant à j 17 pour Précoce ou au cours de celle commencée le j 24 pour Tardif) que des différences, au niveau des IC hebdomadaires, peuvent être observées (ANOVA séparées, $p < 0.05$) par rapport à Broyé (0 % de grains entiers).

Bennett et al. (2002) observent également une augmentation de l'indice de consommation à partir de l'introduction de 20 % de grains entiers (dès j 6). Par contre, Yasar (2003) n'observent pas d'augmentation significative ($p > 0.05$) de l'IC avec 50 % de grains entiers.

Ce travail s'inscrit dans le cadre général de l'autoconsommation du blé dans le cas d'entreprises mixtes (céréalières et avicoles) et de la réalisation, au sein de ces exploitations, des mélanges alimentaires. Par conséquent, les régimes employés dans cette expérience ne sont pas granulés, pour rester proches des conditions pratiques. Il ne peut donc être exclu que des phénomènes de tri interviennent, dans cette étude et/ou sur le terrain, dans les réponses observées.

2.2. Anatomie du tube digestif

Les valeurs relatives à l'anatomie du tube digestif et de ses annexes sont présentées au tableau 4. Il est important de noter que les prélèvements ont lieu entre 11 et 18 jours après que les animaux « Tardif » et « Précoce » aient commencé à recevoir le même régime (30 % de blé entier).

Les poulets nourris au blé entier possèdent ($p < 0.05$) un gésier proportionnellement plus lourd. Cette observation est classique (Plavnik et al., 2002, Svihus et al., 2004 a, Bennett et al., 2002 et Taylor et Jones, 2004). Le développement du gésier peut contribuer à expliquer la plus grande ingestion des régimes Entier (Wu et Ravindran, 2004). Mais la taille du gésier ne permet pas d'expliquer la différence d'ingestion entre Broyé et Aplati.

En effet, bien que plus grossier (granulométries non montrées), le régime Aplati ne se différencie pas ($p > 0.05$) du régime Broyé au niveau du poids relatif du

gésier (tableau 4). Ce manque de différenciation pourrait trouver une explication soit dans une différence de texture trop faible, soit dans le caractère déterminant d'une première réduction qui fragiliserait l'albumen (aplatissage) ou encore dans le ramollissement rapide dans le milieu aqueux, des grains aplatis qui n'opposeraient pas de résistance au broyage stomacal supérieure à celle des grains broyés plus finement.

Les poids relatifs du foie et du pancréas sont respectivement maximum et minimum dans le cas d'Aplati par rapport aux 3 autres traitements (tableau 4). Le rapport de ces deux organes est donc plus élevé ($p < 0.05$) pour Aplati par rapport aux autres formes. Cette observation est malaisée à interpréter.

Au niveau des quantités présentes dans les organes (matière fraîche) exprimées par rapport au poids vif (tableau 4), les gésiers des animaux recevant du blé entier contiennent relativement plus de matière ($p < 0.05$). Par contre, par rapport à sa longueur, l'intestin de ces animaux est moins rempli ($p < 0.05$). Le proventricule des animaux recevant le régime Broyé est ($p < 0.05$) relativement plus rempli que celui des autres animaux (tableau 4).

Le pH interne au gésier a tendance ($p = 0.065$) à être inférieur dans le cas des régimes à base de grains entiers (tableau 4). Classiquement, une diminution du pH du gésier est associée à une augmentation de la taille du gésier (Carré, 2000). L'influence de reflux tamponnés duodénaux rencontrés dans le cas de contractions puissantes (Hetland et al., 2003 et Svihus et al., 2004 a) peuvent être évoquées pour expliquer la faible signification ($p = 0.065$) observée. D'autre part, le pouvoir tampon de la ration contribue certainement à masquer un éventuel effet de la forme de présentation sur la concentration et/ou la sécrétion d'HCl lorsque l'on tente de l'apprécier par le pH interne au gésier.

CONCLUSIONS

L'incorporation progressive (10 % d'augmentation par semaine à partir de j 10 ou j 17) de 30 % de grains de blé entiers, dans une ration non granulée, n'a pas d'influence significative ($p < 0.05$) sur la croissance des poulets de chair par rapport à la même ration contenant du blé broyée. Néanmoins, l'indice de consommation est significativement dégradé ($p < 0.05$), à partir de l'introduction de 20 % de grains entiers, par rapport à du grain broyé.

Le régime Aplati est mieux ingéré ($p < 0.05$) que celui à base de blé broyé et il ne se différencie pas de ce dernier au niveau de l'indice de consommation ($p > 0,05$). Par conséquent, il permet d'obtenir une meilleure vitesse de croissance ($p < 0.05$) par rapport au blé broyé.

REMERCIEMENTS

Ce travail de recherche est financé par la Direction Générale de l'Agriculture du Ministère de la Région wallonne. Nous remercions C. Baudouin pour son assistance technique. Les mesures infrarouges de dureté du blé ont été réalisées par le Centre wallon de Recherches Agronomiques (Département Qualité des Productions Agricoles).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bennett, C. D., Classen, H. L., Riddell, C., 2002. Poultry Sci. 81:995-1003.
- Bollen, L., Dubois, A., Biston, R., Deroanne, C., 1996. Phytotechnie et qualités technologiques du froment. Ministère des Classes Moyennes et de l'Agriculture, Direction générale Recherche et Développement, Bruxelles. p. 159.
- Carré, B., Gomez, J., Melcion, J. P., Giboulot, B., 1994. INRA Prod. Anim. 7:369-379.
- Carré, B., 2000. INRA Prod. Anim. 13:131-136.
- Dagnelie, P., 1998. Statistique théorique et appliquée. Tome 2. De Boeck et Larcier, Bruxelles.
- Hetland, H., Svihus, B., 2001. Br. Poult. Sci. 42:354-361.
- Hetland, H., Svihus, B., Krogdahl, Å., 2003. Br. Poult. Sci. 44:275-282
- Mahaut, B., 1993. Industries des Céréales. Janv.-Fév.-Mars:39-44.
- Picard, M., Le Fur, C., Melcion, J.-P., Bouchot, C., 2000. INRA Prod. Anim. 13:117-130.
- Plavnik, I., Macovsky, B., Sklan, D., 2002. Anim. Feed Sci. Tech. 96:229-236.
- Svihus, B., Juvik, E., Hetland, H., Krogdahl, Å., 2004. Br. Poult. Sci. 45:55-60.
- Svihus, B., Kløvstad, K. H., Perez, V., Zimonja, O., Sahlström, S., Schüller, R. B., Jeksrud, W. K., Prestløkken, E., 2004. Anim. Feed Sci. Tech. 117:281-293.
- Taylor, R. D., Jones, G. P. D., 2004. Br. Poult. Sci. 45:237-246.
- Wu, Y. B., Ravindran, V., 2004. Anim. Feed Sci. Tech. 116:129-139.
- Yasar, S., 2003. Int. J. Poult. Sci. 2:75-82.

Tableau 4. Poids relatifs (g/kg PV), longueurs relatives (cm/kg PV) et densités linéaires (g/cm) des organes vides et de leurs contenus, pH des contenus de gésier, poids relatifs (g/kg PV) et rapports (g/g) des organes annexes prélevés entre j 42 et j 49 (n = 72, sauf pH : n = 71).

	Broyé	Aplati	Tardif	Précoce	SEM	p
Proventricule vide	3.2	2.8	3.0	3.1	0.1	NS
contenu	1.9 ^a	1.1 ^b	0.8 ^b	0.8 ^b	0.1	***
Gésier vide	8.6 ^b	8.8 ^b	12.6 ^a	13.6 ^a	0.4	***
contenu	3.4 ^b	4.7 ^b	7.5 ^a	7.6 ^a	0.4	**
pH	4.2	4.0	3.8	3.8	0.1	NS
Intestin grêle vide	15.3	15.3	14.9	15.1	0.5	NS
contenu	29.5 ^a	27.9 ^a	22.5 ^b	25.0 ^{ab}	0.8	**
longueur	70.1	67.6	70.9	70.1	1.1	NS
densité vide	0.22	0.22	0.21	0.22	< 0.01	NS
densité contenu	0.42 ^a	0.42 ^a	0.32 ^b	0.36 ^b	0.01	**
Foie	25.6 ^b	28.3 ^a	27.2 ^{ab}	25.9 ^b	0.4	**
Pancréas	1.8 ^{ab}	1.7 ^b	1.9 ^a	1.9 ^a	< 0.1	*
Foie / pancréas	15.1 ^b	16.9 ^a	14.9 ^b	14.1 ^b	0.3	**

^{a, b}: dans une même ligne, les valeurs affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes (p > 0.05) ; * : p < 0.05 ; ** : p < 0.01 ; *** : p < 0.001 ; NS : p > 0.05.

VALEUR ENERGETIQUE DE DEUX DRÊCHES DE BIOETHANOL DE BLE CHEZ LE COQ ET EFFET DU NIVEAU D'INCORPORATION SUR LES PERFORMANCES DE CROISSANCE DES POULETS DE CHAIR

Vilariño Maria ¹, Gaüzere Jean-Marc ², Métayer Jean-Paul ³, Skiba Fabien ⁴

¹ ARVALIS - Institut du végétal, Pouline, 41100 Villerable,

² CENTRALYS, 9-11 Avenue Arago, 78191 Trappes Cedex,

³ ARVALIS - Institut du végétal, Boigneville, 91720 Boigneville,

⁴ ARVALIS - Institut du végétal, 21 chemin de Pau, 64121 Montardon.

RÉSUMÉ

L'objectif, fixé par l'Europe, d'incorporer 5,75% de biocarburant dans les carburants à l'horizon 2010 va induire le développement de la filière de production de bioéthanol à partir de betteraves, de céréales et de blé en particulier et par conséquent une production importante de coproduits (drêches de bioéthanol). Dans les années 1990, ARVALIS – Institut du végétal avait déjà évalué la valeur nutritionnelle de ce type de coproduit, néanmoins, les process de production ont pu évoluer et se stabiliser depuis, d'où l'intérêt d'actualiser ce travail.

Dans cet objectif, la composition chimique de deux lots de drêches issus de deux unités de production (A et B) a été mesurée. Un essai de digestibilité chez le coq adulte a été réalisé pour évaluer leurs valeurs énergétiques. Afin de définir la limite d'incorporation de ce coproduit dans l'aliment des poulets de chair, les drêches d'un des lots testés (B) ont été incorporées à 0, 10 et 20% depuis le démarrage jusqu'au retrait. La croissance des volailles a été mesurée de 0 à 37 jours d'âge.

La composition chimique des deux lots de drêches diffère principalement par leurs teneurs en MAT (A<B) et en amidon (A>B). Des différences sont également observées sur le taux de cellulose brute (A<B) et de sucres (A>B). Les profils en acides aminés (acide aminé/MAT) des drêches sont voisins de ceux du blé sauf pour la lysine et dans une moindre mesure pour la cystine. La valeur énergétique (EMAn) obtenue sur coqs est de 2675 et 2529 kcal/kg MS respectivement pour les drêches A et B. L'incorporation de 10 et 20% de drêches de blé dans les aliments a réduit le gain de poids des poulets au démarrage (0-10 jours), malgré une consommation d'aliment similaire au témoin. La consommation d'aliments sur la période totale (0 à 37 jours) est réduite de 2 et 5 %. Cette réduction n'est statistiquement significative qu'avec 20% de drêches. Il en est de même pour le poids final des animaux. L'indice de consommation semble légèrement pénalisé par rapport au témoin, mais les différences ne sont pas statistiquement significatives.

ABSTRACT

With ethanol production development in France, volumes of wheat distillers dried grains with solubles (w-DDGS) available for animal feeding are going to increase. In the 1990's, ARVALIS had already estimated the nutritional value of w-DDGS. Nevertheless, the process of production has evolved and has been stabilized since that period. So, we decided to update these data. The chemical composition of two w-DDGS batches produced in two different plants (A and B) was measured. In a first trial, the energy value (AMEn) in adult cockerels, of both w-DDGS batches was tested. In a second trial, the effect of 10 and 20% inclusion of w-DDGS "B" on the growth performances of broiler chickens from 0 to 37 days of age was measured. The chemical compositions of both w-DDGS differed mainly by their proteins and starch contents. Differences were also observed for cellulose and sugars contents. The amino acids profiles (AA/CP %DM) of the w-DDGS were similar to wheat profile except for lysine and to a lesser extend for cystine. In trial 1, the AMEn was 2675 and 2529 kcal/kg MS, respectively for w-DDGS A and B. The results of the trial 2 showed that 10 and 20% of w-DDGS in broiler chicken diets reduced the 0 to 10 days weight gain in spite of a similar feed intake compared with the 0% w-DDGS diet. The total period feed intake (0-37 days) was reduced by 2% and 5% and consequently the final body weight. The feed conversion ratio was slightly decreased with 20% of w-DDGS.

INTRODUCTION

A l'horizon 2010, cinq usines de production de bioéthanol devraient commercialiser sur le marché français environ 700 000 tonnes de drêches de blé (80%) et de maïs (20%). Ces drêches représentent une matière première intéressante en alimentation animale du fait de leur teneur en protéines élevée (32-35% MS). De par leur composition chimique elles devraient remplacer essentiellement une partie du tourteau de soja, du blé et des issues de blé dans les formules d'aliments du bétail. Actuellement les drêches françaises (50 000 t/an) sont utilisées essentiellement pour l'alimentation des bovins. Toutefois, lorsque la disponibilité de cette matière première sera plus importante, on peut s'attendre, d'une part, à l'augmentation de son utilisation et, d'autre part, au développement de leur incorporation dans les formules pour les porcs et les volailles. Cependant peu de références existent actuellement sur la valeur nutritionnelle des drêches de blé d'où la nécessité d'actualiser nos connaissances sur ces coproduits.

L'objectif de ce travail était de caractériser deux lots de drêches issues de deux usines de production en France utilisant des procédés différents. Pour cela leurs compositions chimiques a été évaluée ainsi que leurs valeurs énergétiques chez le coq adulte. Enfin, deux niveaux d'incorporation (10% et 20%) d'une de ces drêches (B) ont été testés dans des régimes de type commercial chez le poulet de chair.

1. MATERIELS ET METHODES

Les deux lots de drêches utilisés sont issus des procédés de distillation d'éthanol à partir du blé. Ce coproduit est aussi appelé DDGS (Distillers Dried Grains with Solubles) de blé. Dans le cas de la distillerie « A », les sons sont séparés en début de procédé et rajoutés en fin de process, avant la granulation. L'amidon restant dans les sons se retrouve ainsi dans les drêches. Les drêches A sont issues de blé de la récolte 2004 et présentées en granulés de 6 mm de couleur claire. Dans le cas de la distillerie « B », il n'y a pas de séparation des sons, ce qui conduit à une teneur en amidon très faible dans les drêches. Les drêches B sont issues de blé de la récolte 2005 et sont présentées en granulés de 6 mm de teinte brune. Tous les aliments sont fabriqués par ARVALIS – Institut du végétal à la station expérimentale de Boigneville (91).

1.1 Essai 1. Valeur énergétique des drêches chez le coq adulte

Un aliment complémentaire, constitué de maïs (84,54%), de tourteau de soja 48 (15,46%) est fabriqué, ainsi qu'un mélange AMV incorporé en proportion égale dans tous les aliments. Le mélange AMV est constitué d'un prémix (PX3211), de phosphate bicalcique et de carbonate de calcium. Les aliments contenant les drêches à étudier, sont

constitués de 50,0% de drêches, 47,0% de complémentaire et 3,0% d'AMV.

Les matières premières sont broyées à l'aide du broyeur à marteaux FAO (3000 tr/mn, 64 m.s⁻¹) à la grille de diamètre 4 mm. Les aliments sont granulés à la vapeur à l'aide d'une presse La Meccanica, type CLM200, filière de 2,5 mm x 35 mm, température des granulés à la sortie de la filière d'environ 65°C.

La mesure de digestibilité de l'aliment témoin permet de calculer la valeur alimentaire des drêches de blé par différence. L'essai est réalisé sur des coqs adultes intacts (non caectomisés) de souche ISABROWN, âgés de 76 semaines. Ils reçoivent leurs aliments *ad libitum*, avec un dispositif en blocs : 3 aliments x 10 blocs. Le bilan digestif est effectué par collecte journalière des excréta pendant les 72 dernières heures (48 heures d'alimentation et 24 heures de jeûne à la fin du bilan), après une période d'adaptation à l'aliment de 65 heures et une mise à jeun de 24 heures avant le début du bilan. Les fientes sont lyophilisées, broyées puis analysées individuellement. L'énergie métabolisable à bilan azoté nul (EMAn) est mesurée. Le bilan azoté est calculé par l'azote ingéré moins l'azote excrété pendant le bilan digestif.

1.2 Essai 2. Performances de croissance en conditions d'élevage

Le bâtiment expérimental (faisant partie d'une exploitation agricole) de Centralys est situé près de Redon (35), dans une zone à forte densité d'élevages. Une partie du bâtiment (400 m²) est aménagée avec des parquets de 5 m² pour les traitements expérimentaux. Pour cet essai, 2430 poulets de souche Ross PM3 sont répartis en 27 parquets, soit 90 poulets par parquet avec une densité de 18/m². Chaque régime est testé sur 9 parcs contenant 90 poulets soit 810 animaux par régime. Les animaux sont allotés en fonction de leur poids à J0 et de leur sexe et répartis dans les parcs de manière à obtenir le même poids moyen par régime à J0. Le sexe ratio est équilibré dans chaque parc.

Les animaux sont pesés à l'arrivée dans l'élevage (J0) puis à chaque transition alimentaire : J10, J21, J28 et J37. La consommation d'aliment est contrôlée par parquet sur les mêmes périodes.

Les aliments sont formulés par CENTRALYS et fabriqués par ARVALIS – Institut du végétal à l'unité de fabrication d'aliments de Boigneville (91).

Trois régimes (iso protéine et iso énergie) sont fabriqués pour chaque période d'élevage à partir du même lot de drêches (B) utilisé dans l'essai précédent. Les valeurs de MAT / Lys / EMA des aliments sont :

- Démarrage : 21,9 % / 1,24 % / 2865 kcal/kg
- Croissance : 19,5 % / 1,17 % / 2875 kcal/kg
- Finition : 18,7 % / 1,06 % / 2920 kcal/kg
- Retrait : 18,0 % / 1,02 % / 2960 kcal/kg

Un additif anticoccidien ionophore (Monensin 20) est ajouté, mais les aliments sont formulés sans enzymes. La valeur énergétique prise en compte dans les formules est celle obtenue dans l'essai coq (cf. plus

haut) sur le même lot de drêches (B), soit une EMAn = 2529 kcal/kg MS.

Les matières premières sont broyées à l'aide d'un broyeur à marteaux Gondard (3000 tr/min, 64 m.s⁻¹) à la grille de diamètre 6 mm (drêches, blé, pois, tourteau de soja et tourteau de tournesol) et 8 mm (maïs). Les aliments démarrage sont granulés à la vapeur à l'aide d'une presse La Meccanica, type CLM200, filière de 2,5 mm x 35 mm et les aliments croissance, finition et retrait sont granulés à la vapeur à l'aide d'une presse Gondard, type V300, filière de 2,5 x 35 mm.

Les 3 traitements testés par période sont les suivants :

- Traitement 1 : aliment témoin 0% drêches
- Traitement 2 : aliment 10% drêches
- Traitement 3 : aliment 20% drêches

1.3 Traitement statistique des données

Les analyses statistiques sont effectuées à l'aide du logiciel STATVIEW 5.0 (SAS Institute Inc.). Les données sont traitées par analyse de variance.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

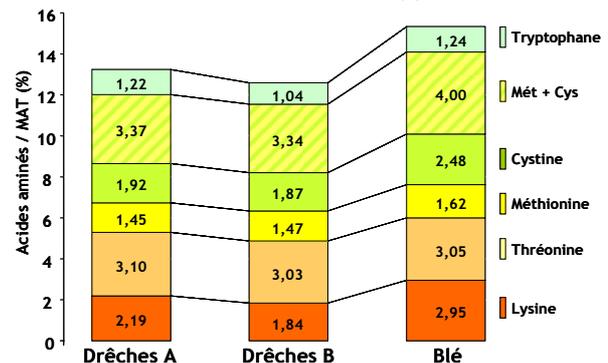
2.1 Composition chimique

La composition chimique des deux lots de drêches (tableau 1) diffère principalement par leur teneur en protéines (MAT pour matières azotées totales) et en amidon. En effet, la teneur en MAT du lot de drêches A est plus faible que celle du lot B (32,0% vs 35,1% MS). A l'inverse la teneur en amidon des drêches A est plus élevée que celle de B (11,7% vs 3,0% MS), conséquence directe du procédé de fabrication. D'autre part, les drêches A présentent une teneur en sucres plus élevée (+67%) et une fraction fibreuse (NDF+ADF+ADL) moins importante (-12%) que les drêches B. Parmi les éléments minéraux, seule la teneur en sodium est différente (+68% pour B). Tous les composants, à l'exception de l'amidon se retrouvent multipliés dans les drêches, par des coefficients qui vont de 2,5 à 3,5 par rapport à un blé moyen (tables INRA-AFZ, 2004). Néanmoins, la proportion n'est pas la même, selon le composant ou le lot de drêches considéré. La MAT des drêches se retrouve multipliée par un facteur de 2,7 à 2,9, par contre les acides aminés se retrouvent avec un rapport plus faible, de 2,4 à 2,6. Dans la figure 1 nous présentons les profils (% AA/MAT) des principaux acides aminés, dans les drêches A et B, ainsi que dans un blé moyen. L'acide aminé présent en plus faible quantité par rapport au blé, est la lysine avec seulement 2,19% et 1,84% de lys/MAT pour A et B respectivement en comparaison du blé moyen (2,95%). La cystine se retrouve elle aussi diminuée d'environ un tiers par rapport au blé.

Il est possible que des températures élevées pendant le procédé de fabrication (probablement pendant le séchage), aient entraîné des réactions de Maillard, comme cela a déjà été rapporté pour les drêches de

maïs (Nyachoti *et al.*, 2005). Dans ce cas, une partie de ces acides aminés est complexée et n'est pas mesurée. Les acides aminés ainsi complexés ne sont pas digestibles par les volailles. Cette hypothèse est la plus vraisemblable sachant que la lysine est justement l'acide aminé qui se dégrade en premier en présence de températures élevées. Le fait que l'usine B utilise un séchoir plus « violent » (communication orale) que celui de l'usine A, renforce cette hypothèse.

Figure 1. Profil des principaux acides aminés par rapport à la teneur en Matières Azotées Totales (%)



Néanmoins, d'autres hypothèses peuvent être avancées. Ainsi la MAT mesurée (N x 6,25) peut présenter une partie plus ou moins importante d'azote non protéique, conséquence du procédé de fabrication (utilisation d'ammoniaque comme source d'azote nécessaire au développement des levures). En outre, il est difficile de connaître la part de protéines qui proviennent vraiment du blé et celles provenant des levures mortes qui se retrouvent dans les drêches (ce qui peut changer le profil mais aussi la digestibilité), ou encore les transformations subies par les protéines du blé tout au long de ces procédés (enzymes, correcteurs de pH, température, ...) qui sont loin d'être simples. Nous pouvons néanmoins penser que les « futures » drêches auront une meilleure qualité des protéines avec des équipements (séchoirs) plus récents qui dégraderaient moins les protéines (choc thermique plus faible).

2.2 Essai 1. Valeur énergétique (EMAn) des drêches chez le coq adulte

La digestibilité de l'énergie (EMAn/EB) chez le coq (tableau 2) est significativement différente ($p < 0,001$) entre les deux drêches avec des valeurs assez faibles (A = 55,8% ; B = 52,1%) en comparaison au blé (78%). Ces valeurs sont toutefois plus élevées que celle du tourteau de colza (34%) et similaires à celle du tourteau de soja (54%) (valeurs calculées à partir des tables INRA-AFZ, 2004).

On observe une différence significative de l'EMAn entre les deux lots de drêches ($p < 0,001$), avec des valeurs de 2676 et 2529 kcal/kg MS pour les drêches A et B respectivement. La différence de 147 kcal/kg MS en faveur des drêches A, s'explique en partie par une teneur plus élevée en amidon et en sucres et une teneur en fibres plus faible. L'EMAn du lot de

drêches A est assez proche de la valeur citée dans les tables INRA-AFZ 2004 (2604 kcal/kg MS) pour ce type de drêches (amidon > 7%) et inférieure de 235 kcal à un lot de la même usine que nous avons testé en 1993 (essai non publié). L'EMAn de la drêche B est très supérieure à la valeur citée dans les tables INRA-AFZ 2004 (2067 kcal/kg MS) pour ce type de drêches (amidon < 7%). Bien qu'il existe des différences de composition chimique entre les drêches de cette étude et les caractéristiques de la table, elles ne permettent pas d'expliquer cet écart d'EMAn. En fait, le calcul de l'EB à partir de la composition chimique (équation INRA-AFZ, 2004) donne un écart similaire entre les drêches A et B de cette étude et celles des tables (environ 150 kcal/kg MS). Il est donc possible que la valeur d'EMAn des tables soit sous-estimée pour les drêches du type B. Les valeurs du rapport EMAn/EB sont de 55,8% et 53,5% pour les drêches A et la moyenne de drêches de même type figurant dans les tables, alors que les valeurs pour les drêches B sont très différentes (53,5% et 42,3% respectivement). Il n'est pas exclu, bien sur, que le faible écart obtenu entre les deux types de drêches dans notre étude, soit attribuable aux lots étudiés.

2.3 Essai 2. Effet de l'incorporation des drêches de blé sur les performances de croissance des poulets.

Sur la période totale d'élevage (0-37 jours), les poulets consommant des régimes avec 20% de drêches réduisent leur consommation (-5,4%) significativement par rapport au témoin, le traitement avec 10% de drêches étant similaire au témoin, malgré une tendance (-1,9%) allant dans le même sens. Cette diminution de la consommation pénalise de manière significative ($p < 0,001$) le poids final des animaux (1927, 1873 et 1788 g de poids vif/poulet pour 0%, 10% et 20% d'incorporation de drêches). L'indice de consommation (IC) ne diffère pas significativement ($p = 0,09$) mais semble légèrement affecté surtout avec le régime à 20% de drêches (moyennes de 1,82 pour le témoin, 1,83 avec 10% et 1,85 avec 20% de drêches).

C'est sur la période de démarrage que les différences avec le témoin sont les plus fortes. Les IC à 10 jours sont déjà dégradés de 8% et 12% pour une incorporation de 10% et 20% de drêches respectivement. Cette dégradation s'explique non pas par la consommation d'aliment, qui est similaire au témoin, mais par un gain de poids plus faible ($p < 0,0001$) avec les régimes contenant 10 et 20% de drêches par rapport au témoin (20,0 et 19,1 vs 21,1 g/jour/poulet respectivement). La différence entre 10% et 20% de drêches est également significative, ce qui montre bien une relation directe entre le taux d'incorporation de drêches et la dégradation de l'indice de consommation. Pour les périodes suivantes, les écarts d'indice entre le témoin et les régimes avec drêches se sont atténués, et même sur certaines périodes les différences ne sont plus significatives.

Ces résultats laissent penser que les apports en acides aminés digestibles (lysines et acides aminés soufrés) ont pu être insuffisants pour les fortes exigences de la période de démarrage. En effet, nous avons formulé tous les aliments avec une teneur en lysine dans les drêches (0,95 g/kg MS) supérieure à celle mesurée (0,64 g/kg MS). Cela veut dire que, les aliments avec 10 et 20% de drêches contenaient réellement -2,3% et -4,5 % de lysine totale par rapport au prévisionnel. Ces déficits sont probablement amplifiés sur la base de la lysine digestible, car il est très probable que la digestibilité réelle soit également plus faible que celle utilisée dans la matrice de formulation. En conséquence, les poulets ont réduit leur croissance et n'ont pas réussi par la suite à rattraper le retard pris pendant la première période.

CONCLUSIONS

Les drêches de blé évaluées présentent quelques différences de composition chimiques liées au procédé de fabrication. Elles représentent une source de protéines intéressante pour l'alimentation des volailles. Dans les deux cas, leur majeur handicap est la faible teneur en lysine et en acides aminés soufrés. La digestibilité de l'énergie chez le coq est similaire à celle du tourteau de soja et plus élevée que celle du tourteau de colza. Chez le poulet standard, l'introduction de 10% de drêches donne des résultats comparables au témoin. A un niveau de 20%, une légère diminution de la consommation et du gain de poids sont observés. Néanmoins, cette baisse de performances pourrait être liée au déficit en lysine des régimes, en période de démarrage, qui a pénalisé les résultats par la suite. La caractérisation fine (la valeur nutritionnelle de l'énergie mais surtout de la fraction protéique chez les volailles) des « nouvelles drêches » qui arriveront sur le marché sera nécessaire afin d'optimiser la formulation d'aliments pour volailles contenant des drêches de bioéthanol de blé.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les équipes techniques d'ARVALIS – Institut du végétal et M. Lucas pour la réalisation de ces essais ainsi que les usines de production BENP à Provins et TEREOS à Origny Sainte Benoîte pour la fourniture des lots de drêches.

REFERENCES

- INRA-AFZ, 2004. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. Porcs, volailles, bovins, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons. D. Sauvart, J.M. Pérez, G. Tran (eds), Seconde Edition révisée, INRA, Paris, 301p.
- Nyachoti C.M., House J.D., Slominski B.A., Seddon I.R., 2005. Energy and nutrient digestibilities in wheat DDGS fed to growing pigs. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85: 2581-2586.

Tableau 1. Composition chimique de deux lots de drêches utilisées dans les essais (% MS)

	Drêches		Drêches	
	A	B	A	B
Constituants	Teneur en acides aminés			
Matière sèche	93,30	95,28	Lysine	0,70 0,64
Mat. azotées totales	32,07	35,05	Thréonine	0,99 1,06
Mat. grasses (hyd.)	5,73	6,36	Méthionine	0,46 0,51
Amidon Ewers	11,69	3,01	Cystine	0,62 0,66
Cellulose brute	6,05	8,5	Méth. + Cys.	1,08 1,17
Parois	26,74	26,91	Tryptophane	0,39 0,36
NDF	21,83	24,83	Isoleucine	1,09 1,20
ADF	7,43	9,78	Leucine	2,09 2,33
ADL	2,47	3,98	Valine	1,37 1,52
Sucres totaux	6,53	3,90	Arginine	1,40 1,52
Mat. minérales	4,66	5,77	Histidine	0,66 0,72
Ca	0,13	0,15	Phénylalanine	1,38 1,54
P	0,81	0,90	Tyrosine	0,94 1,04
Cl	0,32	0,32	Sérine	1,45 1,56
Na	0,35	0,59	Alanine	1,19 1,29
K	1,09	1,09	A. aspartique	1,63 1,71
			A. glutamique	8,17 8,95
			Glycine	1,28 1,43
			Proline	2,63 2,97

Laboratoire d'Analyses Biochimiques d'ARVALIS - Institut du végétal
AJINOMOTO – Eurolysine pour les acides aminés

Tableau 2. Valeur énergétique des aliments (50% de drêches) et des drêches (calcul par différence) chez le coq adulte (essai 1) et résultats de performance chez le poulet de chair en conditions d'élevage (essai 2)

	Témoin	A	B	H0	ETR CVR (%)
Valeur énergétique des aliments chez le coq adulte					
EMA (kcal/kg MS)	3581 a <i>33</i>	3072 b <i>33</i>	2997 c <i>59</i>	<0,001	43 <i>1,3</i>
EMAn (kcal/kg MS)	3544 a <i>33</i>	3039 b <i>32</i>	2961 c <i>63</i>	<0,001	45 <i>1,4</i>
EMAn/EB (%)	79,9 a <i>0,7</i>	66,7 b <i>0,7</i>	64,5 c <i>1,4</i>	<0,001	1,0 <i>1,4</i>
Valeur énergétique des drêches chez le coq adulte					
EMA (kcal/kg MS)		2705 a <i>65</i>	2566 b <i>113</i>	0,004	92 <i>3,5</i>
EMAn (kcal/kg MS)		2676 a <i>62</i>	2529 b <i>122</i>	0,003	97 <i>3,7</i>
EMAn/EB (%)		55,8 a <i>1,3</i>	52,1 b <i>2,5</i>	<0,001	2,0 <i>3,7</i>
Résultats de performances chez le poulet en conditions d'élevage avec incorporation de 0%, 10% et 20% de drêches					
Période totale (0-37 j)	Témoin	10% drêches B	20% drêches B	H0	ETR CVR (%)
Consommation (g)	3498 a <i>69,9</i>	3433 a <i>92,6</i>	3310 b <i>106,3</i>	<0,001	68 <i>2,0</i>
GMQ (g/j)	52,1 a <i>1,1</i>	50,6 a <i>1,4</i>	48,3 b <i>1,5</i>	<0,001	0,9 <i>1,9</i>
I.C.	1,816 <i>0,022</i>	1,833 <i>0,029</i>	1,851 <i>0,033</i>	0,09	0,032 <i>1,7</i>
IC 0-10 j	1,436 b	1,557 a	1,606 a	<0,01	0,084
IC 10-21 j	1,570	1,547	1,573	NS	0,035
IC 21-28 j	1,852 b	1,904 a	1,876 ab	<0,05	0,040
IC 28-37 j	2,212	2,212	2,254	NS	0,083

Chiffres en italique : écart-type d'échantillonnage
a, b, c, : groupes homogènes par le test de Newman et Keuls (P<0,05)

**UTILISATION DU TRITICALE DANS L'ALIMENTATION DU POULET :
ESTIMATION DE L'EFFICACITE DE LA PHYTASE VEGETALE POUR
AMELIORER LA DISPONIBILITE DU PHOSPHORE**

Jondreville Catherine¹, Genthon Clotilde², Bouguennec Annaig³, Nys Yves²

¹*INRA, UMR1079 Systèmes d'élevage Nutrition animale et humaine, 35590 SAINT-GILLES
; Agrocampus, 35590 SAINT-GILLES*

²*INRA, UR83 Recherches Avicoles, 37380 NOUZILLY*

³*INRA, UMR 1095 Amélioration et Santé des Plantes, domaine de Crouelle, 63000
CLERMONT-FERRAND ; UBP, 63000 CLERMONT-FERRAND*

RÉSUMÉ

Cinq variétés de triticales ont été cultivées dans des conditions identiques. L'analyse de l'activité phytasique (1012 à 2146 UP / kg) révèle un effet de la variété sur l'activité de cette enzyme. L'efficacité de la phytase végétale pour améliorer la disponibilité du phosphore (P) a été étudiée chez des poulets élevés jusqu'à trois semaines d'âge. Douze aliments ont été comparés : trois aliments à base de maïs (45%) et de tourteau de soja (23%) supplémentés avec 0, 1 ou 2 g de P sous forme de phosphate monocalcique (PMC) et neuf aliments sans PMC dans lesquels le maïs était remplacé par du triticales, provenant de quatre variétés, chauffé ou non (dont un lot partiellement chauffé). L'activité phytasique dans les aliments à base de triticales était de 135 à 1390 UP / kg. Les performances de croissance ont été améliorées et la teneur en cendres des os a augmenté avec la teneur en P des aliments à base de maïs et avec l'activité phytasique des aliments à base de triticales. Des modèles non linéaires, ajustés à ces réponses, ont permis d'établir que 250, 500 et 1000 unités de phytase végétale sont équivalentes à respectivement 0,46 ; 0,68 et 0,81 g de P sous forme de PMC. Ces équivalences signifient qu'introduire 45% de triticales dans un aliment pour poulet permet d'augmenter l'activité phytasique de 455 à 966 UP / kg et ainsi permet de réduire la supplémentation de P sous forme de PMC de 0,6 à 0,8 g / kg d'aliment.

ABSTRACT

Five varieties of triticales were grown under similar conditions. Phytase activity (1012 to 2146 PU / kg) displayed a significant genotypic effect. The efficacy of plant phytase to improve phosphorus (P) availability was assessed in chickens up to 3 weeks of age in twelve experimental diets: three maize (45%) and soybean meal (23%) based diets with 0, 1 or 2 g P / kg as monocalcium phosphate (MCP) and nine diets with no MCP in which triticales (45%) from four varieties, heated or not (including one partially heated), replaced maize. Phytase activity in the triticales based diets ranged between 135 to 1390 PU / kg. Growth performance and bone ash were responsive to plant phytase and to MCP. Non linear models of these responses were adjusted with the best fit for bone ash parameters. 250, 500 and 1000 PU of plant phytase were estimated to be equivalent to 0.46, 0.68 and 0.81 g P as MCP, respectively. Introducing 45% of triticales in a plant feedstuffs based diets increases its phytase activity by 455 to 966 PU / kg and, in turn, prevents the supplementation of 0.6 to 0.8 g of P as MCP / kg diet.

INTRODUCTION

Le triticale, qui allie potentiellement les caractéristiques nutritionnelles du blé à la rusticité du seigle, a été proposé comme une céréale intéressante dans l'alimentation des animaux (Gatel et al., 1985 ; Vieira et al., 1995). En plus de ses teneurs en protéine, en acides aminés et en polysaccharides non amylacés, sa teneur en phosphore (P) disponible a un impact important sur la valeur alimentaire de cette céréale et sur la mise en place de stratégies alimentaires aptes à réduire l'impact environnemental de l'élevage de volailles.

La disponibilité de P contenu dans le blé dépend principalement de son activité phytasique et est peu influencée par sa teneur en P phytique (Barrier-Guillot et al., 1996b). L'activité phytasique du blé est sous l'influence du génotype, bien qu'une interaction génotype x milieu existe également (Barrier-Guillot et al., 1996a ; Oury et al., 1998). Le triticale présente une activité phytasique intermédiaire entre celle du blé et celle du seigle (respectivement 770, 450 et 5300 unités (UP) / kg, INRA-AFZ (2004)). Cependant les références disponibles ne permettent pas de cerner la part de variabilité liée au génotype (Eeckhout et De Paepe, 1994 ; Nys et al., 1996 ; Skiba et al., 2004). Par ailleurs, l'efficacité de la phytase végétale pour améliorer la disponibilité de P n'a été que peu étudiée et principalement en utilisant du blé (Barrier-Guillot et al., 1996b ; Frapin, 1996 ; Paik, 2003). Le but de cette étude est donc d'évaluer la variabilité génotypique de l'activité phytasique du triticale et de mesurer l'impact de l'utilisation de cette céréale dans l'alimentation des volailles sur la disponibilité de P.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Lots de triticale

Cinq variétés de triticale (DI34-2, Trimaran, Aubrac, Capitale et Calao) ont été cultivées sur quatre à six micro-parcelles à l'INRA de Clermont-Ferrand, selon un itinéraire technique unique, adapté à la région. Quatre de ces variétés (DI34-2, Trimaran, Aubrac et Calao) ont été utilisées pour évaluer la réponse de poulets à des niveaux croissants de phytase végétale. Cette étude a été conduite à partir d'un mélange en proportions égales des quatre à six sous-échantillons obtenus par variété.

1.2. Aliments expérimentaux

Douze aliments ont été formulés pour satisfaire l'ensemble des besoins nutritionnels du poulet jusqu'à trois semaines d'âge (INRA, 1989), à l'exception de P. Trois aliments, exempts de phytase végétale, étaient à base de maïs (45%) et de tourteau de soja (23%) et contenaient des doses croissantes de P minéral sous forme de phosphate monocalcique (MCP) (0, 1 ou 2 g / kg). Les neuf autres aliments ont été obtenus en remplaçant le maïs par du triticale et en

supprimant tout apport de P minéral. Afin d'obtenir une variabilité suffisante de l'activité phytasique dans les aliments, les quatre variétés ont été introduites sans traitement thermique préalable ou après un traitement thermique consistant en deux séjours successifs de deux minutes dans un four à micro-ondes (600 W). Un mélange de la variété Calao (20% non chauffé, 25% chauffé) a également été utilisé. Une teneur en Ca de 10,6 g / kg a été maintenue dans tous les aliments au moyen de carbonate de calcium. La teneur en protéine (N x 6,25, 217 g / kg) et la concentration énergétique (13,3 MJ EMAn / kg) des aliments ont été ajustées au moyen d'amidon de maïs, de paille de blé, d'isolat de soja et d'huile végétale. Les matières premières ont été broyées avec un broyeur à marteaux muni d'une grille de 2,5 mm avant d'être mélangées. Les aliments ont été distribués aux animaux sous forme granulée.

1.2. Animaux, procédures expérimentales et analyses

Jusqu'à cinq jours d'âge, 220 poussins mâles Ross blanc ont reçu un aliment de démarrage standard. A J5, ils ont été pesés individuellement et les 192 poussins présentant le poids le plus proche de la moyenne ont été placés dans des cages de deux animaux de poids similaire. Pendant les 16 jours suivants, les animaux ont reçu l'un des 12 aliments expérimentaux (huit cages par aliment). Les conditions de température et de lumière ont été celles décrites par Mohanna et Nys (1999). Les animaux avaient un accès libre à l'eau. La consommation d'aliment a été mesurée par cage. A la fin de l'expérimentation, après une nuit de jeûne, chaque animal a été pesé et sacrifié et le tibia droit a été prélevé. Les tibias ont été regroupés par cage, débarrassés de tissu mou, délipidés (24 heures dans l'éther), séchés (105°C, 12 heures) puis pesés. Ils ont ensuite été incinérés dans un four à moufle (550°C, 14 heures) puis les cendres ont été pesées. Toutes les analyses ont été effectuées en double. L'activité phytasique dans les lots de triticale et dans les aliments a été mesurée par colorimétrie (Engelen et al., 1994) et leur teneur en P selon la méthode colorimétrique Vanadate.

1.3. Analyses statistiques

L'effet de la variété sur l'activité phytasique et l'effet de l'aliment sur les performances et sur les caractéristiques osseuses des poulets ont été testés par une analyse de variance, suivie d'une comparaison de moyennes (procédure GLM de SAS). Les unités expérimentales étaient respectivement la micro-parcelle et la cage. Dans un second temps, les effets linéaire et quadratique de P minéral (g / kg aliment) et de l'activité phytasique (UP / kg aliment) sur les performances et sur les caractéristiques des os ont été testés par régression linéaire multiple. Des modèles non linéaires (Procédure NLIN de SAS) ont ensuite été ajustés à la réponse des performances

et des caractéristiques de l'os à l'apport de P minéral et à l'activité phytasique de l'aliment. La réponse à l'activité phytasique était de forme exponentielle et la réponse à P était de forme linéaire ou exponentielle, selon les résultats obtenus lors de l'analyse de régression multiple.

Les modèles étaient donc de la forme suivante : $Y = a + b(1 - e^{-1P_{Min}}) + c(1 - e^{-kPhyt})$ ou $Y = a + bP_{Min} + c(1 - e^{-kPhyt})$ avec Y = critère de réponse, P_{Min} = P minéral (g / kg aliment), Phyt = activité phytasique (UP / kg aliment). Les équivalences ont été obtenues en égalisant les termes relatifs à l'activité phytasique et à l'apport de P minéral. Les modèles non linéaires ont été établis à partir des moyennes par régime. La précision de chaque modèle a été évaluée au moyen du coefficient de détermination R², calculé comme le carré du coefficient de corrélation entre les valeurs individuelles prédites et observées.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Activité phytasique des lots de triticale

L'activité phytasique diffère entre variétés et est plus que doublée de DI34-2 à Calao (Tableau 1). Cet effet du génotype sur l'activité phytasique existe chez le blé (Barrier-Guillot et al., 1996b ; Kim et al., 2002 ; Oury et al., 1998 ; Tran et Skiba, 2005). Toutefois, l'existence d'une interaction génotype x environnement comme chez le blé (Oury et al., 1998) ne peut pas être vérifiée à partir des résultats de notre étude.

Tableau 1. Activité phytasique de cinq variétés de triticale

Variété	n	Activité phytasique, UP / kg ^a
DI34-2	4	1012 ± 102 a
Aubrac	6	1320 ± 87 b
Trimaran	6	1424 ± 125 b
Capitale	4	1815 ± 126 c
Calao	6	2146 ± 145 d
Probabilité		<0,001
ETR ^b		119

^a Moyenne ± écart type de l'échantillonnage

^b ETR, écart type résiduel

Les moyennes dans une même colonne non suivie d'une même lettre diffèrent à P < 0,05

2.1. Essai sur poulets

L'activité phytasique mesurée dans les aliments montre que le traitement thermique appliqué aux lots de triticale a bien permis d'en réduire significativement l'activité phytasique (Tableau 2). Ce type de traitement thermique est normalement sans effet sur la teneur en phytates des céréales (Juanpere et al., 2004).

Les performances de croissance et les caractéristiques osseuses ont été sensibles à l'apport de P minéral et à l'activité phytasique des aliments (Tableau 2). Les

différences les plus marquées ont été observées entre les aliments à base de maïs non supplémenté et supplémenté avec 2 g de P / kg.

La consommation d'aliment et le poids final ont augmenté de façons linéaire (P < 0,001) et quadratique (respectivement P < 0,05 et P < 0,01) avec l'addition de P minéral dans les aliments à base de maïs. Ces variables ont augmenté de façons linéaire (P < 0,001) et quadratique (P < 0,001) avec l'activité phytasique des aliments à base de triticale. L'indice de consommation (IC) a diminué de façons linéaire et quadratique avec l'augmentation de la teneur en P des aliments (respectivement P < 0,01 et P < 0,05) et avec l'augmentation de leur activité phytasique (respectivement P < 0,001 et P < 0,01). L'amélioration des performances avec l'augmentation de l'apport de P disponible soit par l'addition de P minéral soit par l'augmentation de l'activité phytasique des aliments a été observée à plusieurs reprises (Broz et al., 1994 ; Kornegay et al., 1996 ; Paik, 2003). Le doublement du poids final des animaux avec l'addition de 2 g de P / kg dans l'aliment à base de maïs est en accord avec la relation entre P ingéré et gain de poids établie par Lescoat et al. (2005) à partir de 298 données de la littérature. Cette augmentation du poids final est en partie due à une augmentation de la consommation d'aliment, mais également à l'amélioration de l'indice de consommation. L'effet spécifique de P sur l'indice de consommation du poulet est lié au rôle de cet élément dans des fonctions physiologiques importantes comme la formation osseuse et le métabolisme énergétique, la vitesse de croissance élevée de ces animaux et leur faible capacité de stockage de P (Kornegay et al., 1996).

La matière sèche osseuse a été multipliée par 2,9 lorsque 2 g de P / kg ont été ajoutés à l'aliment à base de maïs (effet linéaire, P < 0,001). Cette variable a également augmenté de façons linéaire (P < 0,001) et quadratique (P < 0,01) avec l'activité phytasique des aliments. La quantité de cendres osseuses a été multipliée par 5,1 par l'addition de 2 g de P / kg dans l'aliment à base de maïs (effet linéaire, P < 0,001). La linéarité et l'amplitude de la réponse des cendres osseuses à l'apport de P confirment la capacité de l'os à stocker le phosphore au delà de l'apport alimentaire nécessaire pour maximiser la croissance. Lescoat et al. (2005) ont estimé que la teneur en cendres des os des poulets est maximisée dès qu'ils ingèrent quotidiennement 250-300 mg de P, une valeur qui reste supérieure aux 220 mg de P ingérés par les animaux ayant consommé l'aliment addition de 2 g de P minéral / kg. Les cendres osseuses (g ou g / kg matière sèche délipidée) ont augmenté de façons linéaire (P < 0,001) et quadratique (P < 0,001) avec l'activité phytasique des aliments à base de triticale. La réponse maximale se situait aux environs de 600 UP / kg d'aliment (Figures 1 et 2).

Tableau 2. Performances de croissance et caractéristiques des os des poulets ^a

	Activité phytasique ^b		Poids initial (J5)	Poids final (J21)	Aliment ingéré	IC	MS osseuse	Cendres osseuses	Cendres osseuses
	UP / kg	P ^b g / kg							
P sous forme de phosphate monocalcique (%)									
0	< 50	3,5	154	411a	594a	2,33a	1,00 a	0,214 a	215 a
0.1	< 50	4,5	151	747d	982c	1,65cd	2,02 c	0,589 c	292 f
0.2	< 50	5,7	150	901e	1225d	1,63d	2,88 d	1,09 d	379 g
45% triticale non chauffé									
DI34-2	620	3,8	154	764d	1039c	1,70bc	2,07 c	0,587 c	285 ef
Trimaran	875	3,2	151	751d	1055c	1,76bc	1,98 c	0,524 c	266 de
Aubrac	920	3,6	150	755d	1032c	1,71bc	2,00 c	0,572 c	285 ef
Calao	1390	3,6	151	737d	1045c	1,79bc	1,99 c	0,542 c	272 ef
45% triticale chauffé									
DI34-2	180	3,7	151	620c	739b	1,77bc	1,46 b	0,364 b	251 cd
Trimaran	200	3,3	152	536b	646ab	1,84b	1,27 ab	0,301 b	237 bc
Aubrac	180	3,3	150	539b	693ab	1,79bc	1,37 b	0,327 b	238 bc
Calao	135	3,7	150	567bc	706ab	1,68c	1,43 b	0,33 b	231 ab
Triticale non chauffé (20%) et triticale chauffé (25%)									
Calao	645	3,8	153	712d	959c	1,72bc	1,92 c	0,504 c	264 d
Probabilité ^c									
P ajouté sous forme de PMC	L		<0,001	<0,001	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	Q		<0,01	<0,05	<0,05	NS	NS	NS	NS
Activité phytasique	L		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	Q		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	ETR		69	104	0,19	0,25	0,075	20	

^a les valeurs correspondent à une cage de deux poulets

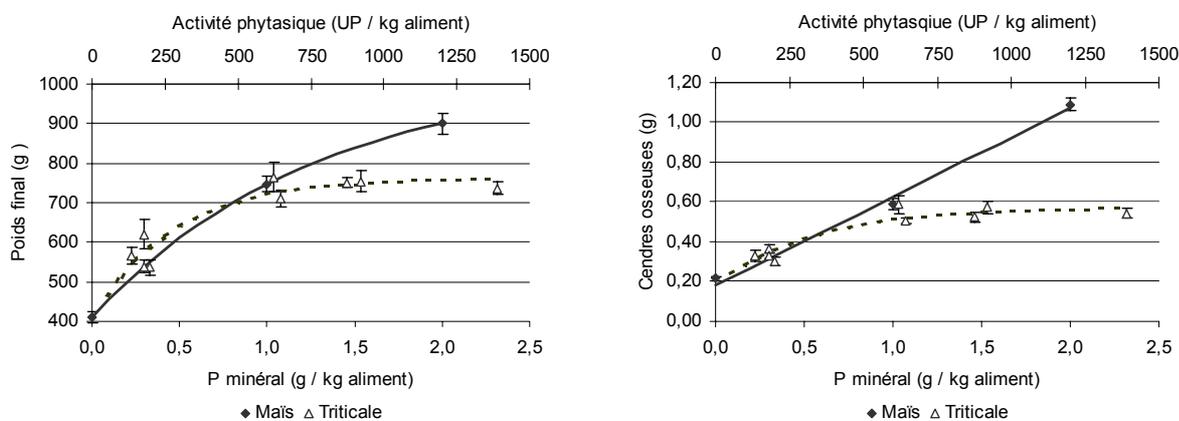
^b Analysé selon la méthode décrite dans la section matériel et méthodes

^c Effets linéaire (L) et quadratique (Q) de P sous forme de PMC (g / kg aliment) et de l'activité phytasique (UP / kg aliment)

Les moyennes dans une même colonne non suivie d'une même lettre diffèrent à P < 0,05

IC, indice de consommation ; MS, matière sèche ; MSD, matière sèche délipidée ; ETR, écart type résiduel

Figures 1 et 2. Modèles non linéaires^a de la réponse du poids final et des cendres osseuses^b à l'apport de P minéral et à l'activité phytasique



^a **Poids final (g)** = 409 + 621x (1 - exp^{-0,786 Pmin}) + 353 x (1 - exp^{-0,00352 Phyt}) ; R² = 0,77 ; ETR = 67

Cendres osseuses (g) = 0,180 + 0,446 x Pmin + 0,393 x (1 - exp^{-0,00303 Phyt}) ; R² = 0,89 ; ETR = 0,075

Cendres osseuses (g / kg MSD) = 211 + 83,3 x Pmin + 67,1 x (1 - exp^{-0,00338 Phyt}) ; R² = 0,81 ; ETR = 20

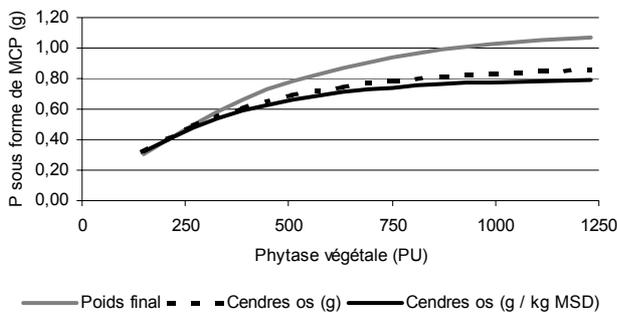
Avec Pmin = P ajouté sous forme de PMC (g / kg aliment) et Phyt = activité phytasique (UP / kg aliment)

^b Moyennes ± écart type de la moyenne

Les modèles non linéaires de la réponse du poids final et des cendres osseuses aux apports alimentaires de P minéral et de phytase végétale ont été ajustés avec un coefficient de détermination de 0,77 à 0,89 (Figures 1 et 2). Comme l'ont observé d'autres auteurs (Zhang et al., 2000 ; Hall et al., 2003), les cendres osseuses ont été le critère de réponse le plus pertinent.

Sur la base des critères osseux, on estime que 250 UP sont équivalentes à 0,47 et 0,21 g de P sous forme de PMC respectivement entre 0 et 250 et entre 250 et 500 UP. Entre 500 et 1000 UP, l'équivalence est baissée à 0,13 g de P minéral (Figure 3). Ces équivalences signifient que le remplacement de 49, 38, 35 ou 23% de maïs par du triticale de variétés respectivement DI34-2, Trimaran, Aubrac et Calao pour atteindre une activité phytasique de 500 UP / kg d'aliment permet d'abaisser la supplémentation en P sous forme de PMC de 0,68 g / kg d'aliment.

Figure 3. Equivalence entre phytase végétale et P sous forme de PMC



En accord avec ces résultats, Paik (2003) estiment que 650 PU de phytase végétale et 1 g de P sous forme de phosphate tricalcique permettent les mêmes performances de croissance et la même rétention minérale chez des poulets jusqu'à 35 jours. De même, Frapin (1996) a évalué différentes variétés de blé et a établi que 500 PU sont équivalentes à 0,65 à 1 g de P sous forme de PMC.

CONCLUSION

Cette étude confirme l'intérêt de l'introduction du triticale dans l'alimentation du poulet pour limiter les rejets de P, 500 unités de phytase végétale étant équivalentes à 0,68 g de P sous forme de MCP. Introduire 45% de triticale présentant une activité phytasique de 1012 à 2146 UP / kg dans un aliment permet de réduire la supplémentation de P sous forme de MCP de 0,6 à 0,8 g / kg d'aliment.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Barrier-Guillot B., Casado P., Maupetit P., Jondreville C., Gatel F., 1996a. *J. Sci. Food Agric.*, 70, 62-68.

Barrier-Guillot B., Casado P., Maupetit P., Jondreville C., Gatel F., 1996b. *J. Sci. Food Agric.*, 70, 69-74.

Broz J., Oldale P., Perrinvoltz A. H., Rycken G., Schulze J., Simoes Nunes, C., 1994. *Br. Poul. Sci.*, 35, 273-280.

Eeckhout W., De Paepe M., 1994. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 47, 19-29.

Engelen A. J., van der Heeft F. C., Randsdorp P. H. G., Smit E. L. C., 1994. *J. AOAC Intern.*, 77, 760-764.

Frapin D., 1996. Valorisation du phosphore phytique végétal chez l'oiseau : intérêt et mode d'action des phytases végétales et microbiennes. Thèse de l'ENSAR, Rennes, 134 p.

Gatel F., Lavorel O., Fekete J., Grosjean F., Castaing J., 1985. In: *Genetics and breeding of triticale* (Bernard M., Bernard S., eds), INRA, Paris, France, 659-670.

Hall L. E., Shirley R. B., Bakalli R. I., Aggrey S. E., Pesti G. M., Edwards H. M., 2003. *Poult. Sci.*, 82, 414-418.

INRA, 1989. *L'Alimentation des Animaux Monogastriques*. Paris, France.

INRA-AFZ, 2004. *Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage* (Sauvant D., Pérez J.M., Tran G., eds), Paris, France, 304 pp.

Juanpere J., Perez-Vendrell A. M., Brufau J., 2004. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 115, 265-279.

Kim J. C., Mullan B. P., Selle P. H., Pluske J. R., 2002. *Australian J. Agric. Res.*, 53, 1361-1366.

Kornegay E. T., Denbow D., Yi Z., Ravindran, V., 1996. *P. Br. J. Nutr.*, 75, 839-852.

Lescoat P., Travel A., Nys Y., 2005. *INRA Prod. Anim.*, 18, 193-201.

Mohanna C., Nys Y., 1999. *Br. Poul. Sci.*, 40, 108-114.

Nys Y., Frapin D., Pointillart A., 1996. In: *Phytase in Animal Nutrition and Waste Management* (Coelho M.B., Kornegay E.T. eds), BASF corporation, Mount Olive, NJ, 213-236.

Oury F.X., Carré B., Pluchard P., Berard P., Nys Y., Leclercq B., 1998. *Agronomie*, 18, 139-150.

Paik I., 2003. *Asian-Austral. J. Anim. Sci.*, 16, 124-135.

Viera S.L., Penz A.M., Kessler A.M., Catellan E.V., 1995. *J. Appl. Res.*, 4, 352-355.

Skiba F., Callu P., Castaing J., Paboeuf F., Chauvel J., Jondreville C., 2004. *Journées Rech. Porcine en France*, 36, 9-10.

Tran G., Skiba F., 2005. *INRA Prod. Anim.*, 18, 159-168.

Zhang Z. B., Kornegay E. T., Radcliffe J. S., Denbow D. M., Veit H. P., Larsen C. T., 2000. *Poult. Sci.*, 79, 709-717.

**EFFETS DE LA 3-PHYTASE D'ASPERGILLUS NIGER SUR LES PERFORMANCES
ZOOTECNIQUES ET LES CARACTERISTIQUES DE LA COQUILLE D'ŒUF DE
POULES PONDEUSES RECEVANT DES ALIMENTS
A BASE DE BLE OU DE MAIS**

Rouault Mickaël¹, Joly Philippe², Magnin Michel¹

¹ *BASF Nutrition Animale – 53200 CHATEAU GONTIER*

² *ISA – 5 rue Buffon – 22003 SAINT BRIEUC*

RÉSUMÉ

L'influence de la 3-phytase microbienne d'*Aspergillus niger*, Natuphos®, sur les performances de ponte et les caractéristiques de la coquille a été étudiée sur 1024 poules ISABROWN, depuis le transfert en bâtiment de ponte (125 jours d'âge) jusqu'à l'âge de 60 semaines. Les poules ont été réparties en cages de deux individus et en 4 traitements, à raison de 4 répétitions de 32 cages par traitement. Quatre régimes alimentaires de même valeur nutritionnelle ont été étudiés : 50% maïs ; 50% maïs + 500 FTU/kg de phytase (équivalence de 1g de calcium et 1g de phosphore disponible par kg d'aliment) ; 50% blé ; 50% blé + 500 FTU/kg de phytase (même équivalence). Les performances de production ont été contrôlées à 24, 30, 40, 50 et 60 semaines. Quels que soient l'âge et le type de régime, l'introduction et la valorisation de la 3-phytase ne modifient pas significativement les performances des poules, sauf pour le poids des œufs significativement augmenté dans les régimes avec phytase. Le régime « blé + phytase » tend également à améliorer l'indice de consommation de 5 à 7 points par rapport aux autres régimes.

Les caractéristiques de la coquille ont été étudiées à 30, 42, 50 et 60 semaines selon les critères suivants : poids de la coquille, % de coquille, index de coquille, coloration, force de fracture, rigidité mécanique, dureté mécanique, % d'œufs à défauts. Ces mesures ont montré une amélioration de la qualité de coquille sur l'ensemble de la période de production avec l'utilisation de la 3-phytase, en particulier sur le régime base blé et en fin de ponte ; la fréquence des œufs à index de coquille inférieur à 80 mg et le pourcentage d'œufs détectés fêlés sont diminués. Entre 22 et 32 semaines les pourcentages d'œufs mous, d'œufs auréolés et d'œufs aplatis ont également été déterminés et aucune influence des traitements n'a été mise en évidence.

ABSTRACT

The effect of the microbial 3-phytase from *Aspergillus niger*, Natuphos®, on laying performances and egg shell characteristics was studied on 1024 ISABROWN hens, from 125 days to 60 weeks of age. Birds were placed in 128 cages, two birds per cage and 4 replicates of 32 cages per treatment. Four diet compositions with the same nutritional value were used : 50% corn ; 50% corn + 500 FTU /kg of phytase (equivalency value = 1g of calcium and 1g of available phosphorus per kg of feed) ; 50% wheat ; 50% wheat + 500 FTU /kg of phytase (same equivalency). Laying performances were recorded at weeks 24, 30, 40, 50 and 60. Whatever the age and the type of diet, phytase valorisation didn't modify significantly the performances of the layers, excepted for the egg weight which was significantly increased by phytase supplementation. The "wheat + phytase" treatment gave a non significant improvement of the FCR (- 5 to 7 points compared to other feeding treatments).

Characteristics of the egg shell were observed at 30, 42, 50 and 60 weeks for the following criteria: egg weight, shell weight, % of shell, shell index, shell coloration, breaking strength, shell rigidity, dynamic stiffness, % of cracked eggs. An improvement in the shell quality all along the study was observed with phytase, particularly with the wheat based diet and at the end of the laying period ; frequency of eggs with a shell index lower to 80 mg and the percentage of cracked eggs were improved. Between 22 and 32 weeks, percentages of soft , slab sided and white banded eggs were also observed and no treatment influence was detected.

INTRODUCTION

Dans les végétaux, le phosphore se trouve principalement sous forme de phosphore phytique non disponible pour les animaux monogastriques et en particulier les volailles (Juin et al, 2001). Ce phosphore phytique n'est libéré que sous l'action des phytases, comme la 3-phytase d'*Aspergillus niger* ou la 6-phytase notamment présente dans les céréales. L'utilisation de phytase dans les aliments pour volailles est bien renseignée pour les poulets de chair, les dindes, les canards et également pour les poules pondeuses (Budor et al, 1995 ; Van der Klis et al, 1997 ; Um et Paik, 1999). Chez la poule pondeuse l'impact de la nutrition phospho-calcique est double : qualité de l'os et besoin d'entretien d'une part, qualité de la coquille d'autre part. Selon la période de l'année les poules peuvent également recevoir des aliments dont la base d'apport en céréales est soit du blé soit du maïs. Les teneurs en phytates et en phytase endogène varient considérablement entre ces deux types de régimes alimentaires.

L'objectif de ce travail expérimental est donc d'étudier l'effet de la 3-phytase d'*Aspergillus niger* sur l'utilisation du phosphore et du calcium chez la poule pondeuse en s'intéressant d'une part aux performances de ponte obtenues avec deux régimes, l'un à base de blé, l'autre à base de maïs, supplémentés ou non en 3-phytase microbienne, d'autre part en réalisant une étude des caractéristiques physiques de la coquille de l'œuf.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Aliments

Quatre aliments, T1 à T4, ont été formulés selon les mêmes caractéristiques nutritionnelles (2700 kcal EM, 16,8% de protéines totales, 0,83% de lysine totale, 0,40% de méthionine totale).

T1 et T2 contenaient 50% de maïs et environ 11% de blé, tandis que T3 et T4 étaient formulés sur une base blé (50% de blé, environ 14% de maïs). Tous les aliments contenaient environ 21% de tourteau de soja et du tourteau de tournesol (6% pour T1 et T2, 3% pour T3 et T4).

Les aliments T1 et T3 ont été formulés pour des apports minéraux de 35 g/kg de calcium et de 3.2 g/kg de phosphore assimilable. Les aliments T2 et T4 ont été supplémentés en 3-phytase microbienne (Natuphos® produite par *Aspergillus niger*, BASF AG, Ludwigshafen, Allemagne) à raison de 500 FTU/kg (valeur analysée). Les apports de phosphore (P) assimilable et de calcium (Ca) ont été ajustés en fonction de l'addition de phytase en considérant que l'activité introduite correspond à 1.0 g de P assimilable et 1.0 g de Ca. Les aliments ont été distribués aux animaux sous forme granulée.

Les activités phytasiques endogènes moyennes analysées ont été respectivement de 150 FTU/kg et 400 FTU/kg pour les régimes base maïs et base blé.

1.2. Animaux, procédures expérimentales et analyses

La mise en place, le suivi de l'essai ainsi que les mesures de qualité coquille ont été réalisés par l'ISA (Saint Brieuc, 22).

Un total de 1024 poulettes ISABROWN a été utilisé pour cette étude. Elles ont été prélevées au hasard sur un lot de 5000 poulettes.

Le transfert des poulettes de la poussinière au bâtiment de ponte a eu lieu à l'âge de 125 jours. Un total de 128 cages de deux oiseaux a été utilisé selon un dispositif de type factoriel. Chaque traitement est constitué de 4 répétitions (= 4 blocs) de 32 cages soit 64 poules. Les poules ont reçu les aliments expérimentaux à partir de 125 jours. Les quantités d'aliment distribué ont été enregistrées pour chaque bloc.

Les œufs sont comptabilisés chaque jour et pesés une fois par semaine. La masse d'œufs produite par poule est calculée ; l'indice de consommation (IC) est calculé par bloc ; la mortalité des poules est également relevée et le taux de viabilité déterminé. Lors des contrôles de qualité de la coquille des œufs, à 30, 42, 50 et 60 semaines, la ponte d'une journée a été collectée et l'évaluation de la qualité de la coquille a été faite par l'examen de la totalité des œufs produits selon les critères suivants :

-Poids des œufs: Les œufs ont été pesés individuellement avec une balance de type Sartorius au centième de gramme près.

-Coloration de la coquille : La coloration de la coquille a été mesurée à l'aide d'un chromatomètre (Minolta CR300). Trois valeurs sont obtenues : L* (-noir/blanc+), a* (-vert/rouge+) et b* (-bleu/jaune+). L'indice de coloration Lab est déduit des mesures précédentes : Lab = L* - a* - b*

-Solidité de la coquille : la solidité de la coquille est évaluée d'une part grâce à la machine de compression MTS Synergie 100 (vitesse de compression fixée à 30 mm/min) et d'autre part à l'aide d'un prototype de l'Université de Louvain permettant de réaliser des mesures de résonance acoustique ; les critères mesurés sont

- la force de rupture de la coquille, exprimée en newton
- la rigidité mécanique, déformation de la coquille, pour une contrainte pouvant varier de 1 à 15 Newton, exprimée en Newton par mm.
- la dureté mécanique ($K_{dyn} = (masse \cdot RF^2) / 10^7$ - selon le prototype de l'université de Louvain permettant de réaliser des mesures de résonance acoustique. La machine mesure ainsi la résonance acoustique RF (« resonant frequency » en Hz).

Les œufs détectés comme microfêlés et fêlés par l'une des deux machines citées ci-dessus, ont été éliminés et n'ont donc pas été utilisés pour la détermination des critères : force de rupture de la coquille, rigidité mécanique, dureté mécanique et forme de l'œuf.

-Poids individuel et index de coquille : le poids des coquilles est déterminé après cassage et lavage de la coquille pour éliminer le blanc adhérent, les coquilles sont placées à l'étuve à 104°C pendant 12 heures pour être séchées et ensuite mesurées. Sont donc mesurés

- Le poids de coquille
- Le pourcentage de coquille (%) = (poids de coquille / poids de l'œuf) x 100 ;
- L'index de coquille (mg/cm²) = Index coq. = 1000 x poids de coquille / (4.68 x (poids de l'œuf)^{2/3}).

1.3. Analyses statistiques

Les résultats de mesures de qualité de coquille ont été analysés en utilisant la procédure GLM du programme d'analyse de variance SAS. Chaque bloc de 64 poules a servi d'unité expérimentale et chaque œuf, d'unité statistique.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Performances de ponte

Les performances sont relativement comparables pour les 4 lots tout au long de la période expérimentale.

De 50 à 60 semaines, une forte mortalité a été observée sur certaines cages des régimes blé et a affecté un bloc du régime « blé sans phytase » et deux blocs du régime « blé avec phytase ».

A 60 semaines, les masses d'œufs produites sont comparables pour les 4 régimes. En moyenne, la masse produite est supérieure de 1,5% pour les régimes « blé » comparés aux régimes « maïs ». La supplémentation en phytase a amélioré de manière non significative la masse d'œufs produite de 0,4 % ; ceci est dû à une légère augmentation du poids de l'œuf de 0,7% (tableau 1).

2.2. Caractéristiques des coquilles

En début de ponte, sur la période 22-32 semaines, peu de différences ont été observées entre les régimes pour les pourcentages d'œufs mous, auréolés ou aplatis (tableau 2).

A 30 semaines, poids de coquille et pourcentage de coquille sont significativement différents entre certains régimes, mais cela résulte d'une très forte corrélation entre poids de l'œuf et poids de coquille (r=0,59). Plus intéressant est l'effet significatif

observé sur l'amélioration de l'index de coquille du régime « blé + phytase ».

Tableau 2. Pourcentage d'œufs présentant des défauts entre 22 et 32 semaines d'âge des poules

% œufs avec défauts	Régime			
	Maïs	Maïs + phytase	Blé	Blé + phytase
% d'œufs mous	0.45	0.49	0.46	0.42
% d'œufs aplatis	0.16	0.22	0.18	0.04
% d'œufs auréolés	0.45	0.73	0.30	0.40
% total	1.06	1.44	0.94	0.84

A 30 semaines, le régime T4 « blé + phytase » améliore également significativement la coloration (Lab respectivement de 18.8 – 18.3 – 19.3 – 17.2 pour T1, T2, T3 et T4) et la rigidité mécanique (205 – 200 – 199 – 209 N/mm pour T1, T2, T3 et T4). La phytase à 30 semaines tend à améliorer l'index de coquille sans que cela se traduise par une amélioration des forces de fracture ou des rigidités. Par contre à 42 semaines, en dehors de l'effet sur le poids de l'œuf et l'effet sur la masse de coquille aucun autre effet n'est significatif. Il en est de même à 50 semaines. La répartition par classe d'index de coquille pour l'ensemble des 3 contrôles met en évidence une supériorité du régime « blé + phytase ». Seulement 3,2 % des œufs ont un index inférieur à 75 mg/cm² alors qu'il est respectivement de 5,6 %, 4,8 % et 6,2 % pour les régimes T1, T2 et T3. Le pourcentage d'œufs fêlés est extrêmement important dans ces classes d'index. La phytase réduit donc le pourcentage d'œufs fêlés.

L'analyse statistique effectuée sur la production entre 30 et 60 semaines (tableau 3) montre que l'utilisation de la phytase permet une amélioration largement significative de l'ensemble des paramètres de qualité mesurés : poids de coquille, pourcentage de coquille, coloration, index de coquille, force de fracture et rigidité mécanique. L'utilisation du blé comme céréale apparaît avoir également un effet positif sur les caractéristiques de la coquille. Ces effets positifs sont essentiellement dus aux résultats de la période 50 – 60 semaines.

La répartition des œufs en fonction de leur classe d'index ne montre pas de différence notable, à l'exception d'une réduction de la fréquence des œufs ayant une faible valeur d'index de coquille pour les régimes supplémentés en phytase. La classe des œufs dont la valeur d'index est la plus faible correspondant à celle où le pourcentage d'œufs microfêlés est le plus élevé, la phytase semble donc avoir un effet sur le pourcentage d'œufs déclassés. Le tableau 4 donne la répartition

des œufs par classe d'index sur l'ensemble des 4 périodes étudiées ainsi que le pourcentage d'œufs microfêlés pour chacune des classes.

Tableau 4. Pourcentage d'œufs fêlés selon le régime alimentaire

Index de coquille	Régime	Régime			
		Maïs	Blé	sans phytase	avec phytase
<70	% d'œufs	2.5	2.0	2.5	2.0
	% d'œufs fêlés	45.3	45.9	51.2	39.9
70 à 75	% d'œufs	2.9	2.8	3.7	2.0
	% d'œufs fêlés	10.2	7.2	8.2	0.2
75 à 80	% d'œufs	8.8	8.5	9.9	7.3
	% d'œufs fêlés	13.0	15.4	13.6	14.8
total <80	% d'œufs	14.1	13.2	16	11.3
	% d'œufs fêlés	25.5	24.0	29.0	20.5

CONCLUSION

La 3-phytase microbienne Natuphos® à la dose de 500 FTU /kg, utilisée avec une équivalence de 1.0 g/kg d'aliment de phosphore assimilable et 1.0 g/kg de calcium, sur des régimes de base maïs ou blé, donne des performances de ponte équivalentes aux régimes formulés sans phytase. Une légère

augmentation du poids de l'œuf, indépendante de l'âge de contrôle, est observée avec l'utilisation de la phytase et du blé. Une équivalence de 1.0 g/kg d'aliment de phosphore assimilable et 1.0 g/kg de calcium peut également être utilisée sur des régimes à base de blé, en ayant déjà utilisé un taux de disponibilité de 50 % pour le phosphore du blé.

Les mesures de qualité de la coquille ont permis de mettre en évidence une amélioration de la qualité de coquille sur l'ensemble de la période de production par l'utilisation de phytase. La fréquence des œufs ayant un index de coquille inférieur à 80mg ainsi que le pourcentage d'œufs détectés fêlés sont diminués par l'utilisation de phytase. Cette amélioration de la qualité de coquille est surtout marquée pour le régime base blé et en fin de ponte, période où la coquille de l'œuf est plus fragile.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la société CECALIMENT pour la fabrication des aliments.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Budor J., Protais J., L'Hospitalier R., Launay M., Bougon M., Bennejean G., 1995. Arch. Geflügelk, 59 (3) : 168-174.
- Juin H., Nys Y., Broz J., 2001. 4èmes Journées de la Recherche Avicole, Nantes, 27-29 Mars 2001 : 201-204.
- Um J.S., Paik I.K., 1999. Poultry Science, 78 : 75-79.
- Van der Klis J.D., Versteegh H.A.J., Simons P.C.M., Kies A.K., 1997. Poultry Science, 76: 1535-1542.

Tableau 1. Performances de ponte obtenues à 60 semaines

Régime	Maïs	Maïs + phytase	Blé	Blé + phytase
nombre d'œufs / poule / jour	253.2	253.0	256.1	255.5
poids moyen de l'œuf (g)	60.58	60.80	60.60	61.26
masse d'œufs produits / poule logée (g)	15159	15198	15067	15487
masse d'œufs produits / poule / jour (g)	15339	15382	15520	15652
aliment consommé 18-60 semaines / poule logée (g)	33536	33867	33173	33243
aliment consommé 18-60 semaines / poule logée / jour (g)	115.4	116.6	115.9	114.3
IC (kg aliment / kg œufs)	2.21	2.23	2.20	2.15
viabilité (%)	95.7	96.5	89.5	95.7

Tableau 3. Caractéristiques des coquilles entre 30 et 60 semaines – résultats par effet

Effet	Maïs	Blé	sans phytase	Avec phytase	P	F Céréale	F phytase	Interaction Cer* Ph
Effectif contrôlé pour les critères indicés (1)	1694	1691	1696	1689				
Effectif contrôlé pour les critères indicés (2) = (1) sans les œufs fêlés	1531	1562	1542	1551				
Poids de l'œuf (g) (1)	61,44A	62,02B	61,45X	62,01Y	0,001	0,001	0,006	0,14
Poids de coquille (g) (1)	6,323A	6,340B	6,313X	6,410Y	0,001	0,001	0,001	0,002
Pourcentage de coquille (1)	10,305	10,339	10,286X	10,359Y	0,001	0,25	0,001	0,015
Index de coquille (mg/cm ²)(1)	86,79a	87,33b	86,63X	87,49Y	0,001	0,028	0,001	0,003
Coloration (L-a - b) (1)	20,53	20,81	20,93x	20,41y	0,001	0,27	0,035	0,001
Force fracture (N) (2)	38,54a	39,04b	38,54x	39,05y	0,001	0,043	0,040	0,86
Rigidité mécanique N/mm (2)	198,7	199,7	198,1x	203,1y	0,001	0,37	0,02	0,001
Dureté dynamique K Dyn (2)	142.6	143,1	142,8	142,9	0,001	0,44	0,61	0,71

Les valeurs indicées par des lettres différentes sont significativement différentes au seuil de probabilité de 0,05 (minuscule) ou de 1% (majuscule)

LES ENZYMES CHEZ LA PONDEUSE : DES BENEFICES AU-DELA DE LA VALEUR NUTRITIONNELLE

Mori Agnes ¹, Francesch Maria ², Gautron Joël ³, Geraert Pierre-André ¹

¹ADISSEO France S.A.S. – rue Marcel Lingot - 03600 COMMENTRY

²IRTA – Centre Mas Bové, Apartat 415, 43280 REUS, Spain

³INRA – UR83 Recherches Avicoles 37380, NOUZILLY

RÉSUMÉ

La synthèse présentée propose une revue de plusieurs expériences réalisées sur des poules pondeuses recevant des régimes à base de blé, d'orge, de maïs, de sorgho et de tourteau de soja supplémentés ou non avec une préparation enzymatique issue de *Penicillium funiculosum* ayant un spectre large d'activités carbohydrases. A côté des améliorations de performance de ponte (augmentation du poids moyen de l'œuf, réduction de l'indice de consommation) d'autres bénéfices liés à la supplémentation enzymatique sont présentés. L'addition d'enzymes pendant la période de ponte favorise ainsi l'homogénéité de la production d'œufs, la propreté des œufs, la teneur en matières sèches des fientes et la qualité de la coquille. Les coquilles des œufs des pondeuses supplémentées sont plus solides mais aussi plus élastiques et seraient ainsi plus résistantes à l'apparition de micro-fêlures.

ABSTRACT

The present paper proposes a review of several experiments with laying hens fed with wheat, barley, corn, sorghum and soybean meal based diets supplemented with a multi-enzymatic product with a large carbohydrase activity spectrum issued from *Penicillium funiculosum*. Beyond the improvement of laying rate, egg mass and feed conversion ratio, other benefits of the enzyme supplementation are presented, particularly on egg quality. Enzyme addition has indeed improved egg size homogeneity, cleanness of the eggs, and quality of the eggshell. The eggshells appeared thicker but also more elastic or flexible, and would thus be more resistant to the appearance of microbreaks in enzyme-supplemented laying hens.

INTRODUCTION

L'utilisation d'enzymes NSP, carbohydrases agissant sur les polysaccharides non amylacés, s'est largement développée chez les volailles de chair (poulet, dinde) ainsi que chez la poule pondeuse aussi bien sur des formulations à base de blé ou d'orge que plus récemment sur des régimes à base de maïs ou de sorgho. La première revendication pour l'utilisation d'enzymes chez la pondeuse est, comme pour le poulet, une amélioration de la digestibilité, notamment de l'énergie, qui se traduit par une amélioration de l'efficacité alimentaire en relation avec une baisse de la consommation ou une augmentation de la masse d'œufs produite. Des améliorations d'indice de consommation comprises entre 2 et 5 % en fonction de la nature de la céréale cible (ex : 4,7 % pour l'orge contre 2,7 % pour le blé, Frapin et al., 1999), sont couramment rapportées (Barrier-Guillot et al., 1995 ; Brufau et al., 1994) en présence d'enzymes NSP.

L'objectif des travaux présentés ici concerne les bénéfices additionnels au-delà de l'amélioration de la valeur nutritionnelle des régimes, des matières premières ou des performances de ponte. Différents essais ont ainsi été réalisés, dans plusieurs stations expérimentales et dans un élevage industriel, pour mesurer l'effet de la supplémentation enzymatique tant sur les performances, l'homogénéité de la production et la qualité des œufs.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Amélioration des performances

Douze expérimentations ont été réalisées pour évaluer l'effet des enzymes NSP sur les performances de production de la poule pondeuse tant sur des formulations à base de blé, d'orge, de maïs ou de sorgho dans des stations expérimentales en Espagne (Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries), France (Centre d'Evaluation et de Recherche en Nutrition d'Adisseo), Etats-Unis (Virginia Scientific Research), Mexique (Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola), Colombie (Universidad de Bogota) et Australie (Queensland Poultry Research and Development Centre) et dans un élevage industriel en Thaïlande (Tableau 1). La préparation enzymatique testée est produite à partir de *Penicillium funiculosum*. Elle contient notamment des activités endo 1,4-β-xylanase, endo 1,3(4)-β-glucanase, pectinases et mannanases. Cette préparation enzymatique est incorporée dans l'aliment farine sous forme poudre (Rovabio™ Excel AP) à raison de 50 g/tonne pour apporter 1100 unités xylanase viscosimétriques par kg d'aliment (quantité d'enzyme qui hydrolyse le

substrat, réduisant la viscosité d'une solution standard d'une unité de fluide relative/min/mL). Les schémas expérimentaux des études réalisées pour évaluer l'effet de la supplémentation enzymatique sur les performances de production de la poule pondeuse sont présentés dans le tableau 1. Les paramètres classiques de production (nombre et poids des œufs, pourcentage de ponte, indice de consommation) ont été mesurés sur une période de 10 à 28 semaines selon les essais, et du pic de ponte à plusieurs semaines après le pic de ponte.

1.2. Amélioration de la qualité des œufs

Dans la première expérience (IRTA, 1. Espagne, Tableau 1), 480 poules âgées de 21 semaines ont été réparties de manière à obtenir 16 répétitions de 15 poules par traitement pendant 28 semaines. Elles ont été nourries avec un régime blé-orge-soja supplémenté ou non avec la préparation enzymatique sous forme liquide (Rovabio™ Excel LC) à raison de 200 mL par tonne. Dans la deuxième étude (4. France, Tableau 1), 40 poules âgées de 29 semaines ont été réparties en cages individuelles pendant 20 semaines et nourries avec un régime maïs-soja en farine supplémenté ou non en enzyme (Rovabio™ Excel AP) à raison de 50 g/tonne. Cette deuxième étude a été menée au Centre d'Evaluation et de Recherche en Nutrition (CERN) d'Adisseo et les mesures des propriétés biomécaniques des coquilles ont été faites à l'Unité de Recherches Avicoles (INRA, Nouzilly). Les différents régimes ont été distribués sous forme de farine.

L'Instron a été utilisé pour mesurer la rigidité (N/mm), la déformation de la coquille obtenue sous une charge donnée allant jusqu'à 10 N, la rigidité (pente de la courbe de déplacement par déformation de l'œuf), et la charge appliquée sur l'œuf jusqu'à la rupture. Les paramètres biomécaniques suivants ont été calculés (Ahmed et al., 2005) :

L'index de coquille (g/100cm², Sauveur, 1988) :

$$I=(C/S)*100$$

Avec C: poids de coquille (g) ; S: surface de l'œuf (cm²) avec $S=4.68 * P^{2/3}$ (P = poids oeuf (g)).

L'épaisseur de la coquille (mm) : $T= I/23.5$

Module élastique de la coquille (module de Youngs) (E_{shell}) en N/mm² :

$$E_{shell} = C [(S_d * R) / T^2]$$

Avec S_d = rigidité ; R= rayon (largeur/2) ; $C= A * [0.408 + (3.026 * 2 * T / \text{width})]$; $A= [(0.153 * L^3) - (0.907 * L^2) + (1.866 * L) - 0.666] / 0.444$ avec L=longueur/largeur.

La dureté (K_c) en $N/mm^{3/2}$ a été calculée pour chaque oeuf en utilisant les formules développées par Bain (1990).

$$K_c = K_{nd} (F/T^{3/2})$$

Avec $K_{nd} = 0.777 * [2.388 + (29.934 * 12 / \text{largeur})]^{1/2}$
et F est la valeur de résistance à la rupture (N).

L'ensemble des données a été soumis à une analyse de variance à l'aide de la procédure GLM du logiciel S.A.S.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Amélioration des performances

Les effets de la supplémentation enzymatique sur les performances de production des poules pondeuses sont résumés dans le tableau 2. L'addition d'enzyme améliore la production d'œufs et l'efficacité alimentaire chez des poules recevant des régimes à base d'orge, de blé, de maïs et même de sorgho. Sur l'ensemble des essais présentés le taux de ponte est augmenté de près de 2% et l'indice de consommation réduit de 3,6% en moyenne, allant de -1,0 à -8,6% selon les régimes ou les essais. Pour bénéficier de l'utilisation des enzymes, il est normalement préconisé de reformuler les aliments. Dans les essais 7 et 8 réalisés au Mexique, les valeurs énergétiques ont été réduites de 50 ou 75 kcal par kg d'aliment à base de sorgho et de tourteau de soja. Les résultats montrent qu'une reformulation de 75 kcal/kg d'aliment pouvait être totalement compensée par la supplémentation enzymatique avec même une amélioration de l'indice de consommation et de la masse d'œufs produite. En Colombie, une réduction de 100 kcal par kg d'un régime à base de maïs et tourteau de soja a même pu être totalement compensée sans affecter l'indice de consommation ou la masse d'œufs.

Les essais rapportés ici ont été conduits avec des aliments sous forme farine. Or il a été démontré (Frapin et al., 1999) que la forme de présentation de l'aliment pouvait affecter la réponse des poules à l'addition enzymatique : l'amélioration d'indice bien que similaire avec les deux formes farine ou miettes, provenait d'une réduction de consommation avec les miettes et au contraire d'une augmentation du poids moyen de l'œuf avec la forme farine. Dans les essais présentés ici, l'amélioration passe principalement par l'augmentation du taux de ponte et du poids moyen de l'œuf sans modification notable de l'ingéré alimentaire.

2.2. Amélioration de la qualité des œufs

L'apport d'enzymes a également amélioré la qualité des coquilles des œufs. Dans la première

expérience (IRTA) où les poules recevaient un régime à base de blé et d'orge, bien qu'il n'y ait pas eu de modification des paramètres macroscopiques (épaisseur de coquille, index, teneur en matières minérales, données non présentées), les valeurs de résistance à la rupture ont augmenté pour les œufs des poules ayant reçu l'enzyme à l'âge de 28 semaines par rapport aux poules ayant reçu le régime témoin (Tableau 3). Cela se traduit sur l'ensemble de la période de mesure (21-48 semaines) par une réduction du nombre d'œufs cassés (-30%, $P=0,026$, Tableau 3). Nous avons également pu montrer une amélioration numérique (non significative) de l'homogénéité des œufs (diminution du nombre d'œufs dans les classes extrêmes) chez les poules ayant reçu le traitement enzymatique par rapport au témoin (Tableau 4).

Dans l'autre expérience (CERN et INRA) où les poules recevaient un régime à base de maïs et de tourteau de soja, l'index de coquille ainsi que l'épaisseur de la coquille ont été significativement augmentés par la supplémentation enzymatique. Mais les coquilles apparaissent plus flexibles comme en témoignent la diminution de la dureté (-4%, $P=0,067$), la tendance à l'augmentation de l'élasticité (+3%, $P<0,10$) et l'accroissement de l'index de déformation dynamique (K_{dn} , +5,7%, $P=0,056$, Tableau 5).

L'origine de cette amélioration pourrait avoir plusieurs explications. La coquille de l'œuf est un matériau minéral à base de calcite étroitement associé à une matrice organique (Nys et al., 2004). La composante minérale pourrait être augmentée en relation avec une amélioration de la disponibilité en minéraux comme le calcium par l'action des enzymes favorisant une amélioration de l'accessibilité des minéraux de la ration et plus particulièrement en réduisant les possibilités de complexation avec les fibres solubles et insolubles dans le tube digestif de l'animal. La matrice organique est quant à elle composée de protéines, glycoprotéines et protéoglycanes qui contribuent aux propriétés mécaniques de la coquille soit en influençant indirectement la mise en place des cristaux de calcite, soit directement en modifiant l'élasticité de la coquille par l'incorporation de ces protéines dans la coquille elle-même (Ahmed et al., 2005). Les enzymes NSP par leur action sur les fibres solubles et insolubles rendent les fractions protéiques alimentaires plus accessibles aux protéases endogènes. Elles pourraient ainsi favoriser la mise en place de cette matrice organique ce qui expliquerait les changements d'élasticité de la coquille sans modification de la teneur en minéraux des coquilles des œufs des poules supplémentées.

Enfin la supplémentation enzymatique dans des régimes à base de blé ou de maïs réduit également

la proportion d'œufs sales même si les conditions expérimentales ne sont pas favorables à l'observation de ce type de paramètre, les œufs étant en effet très propres par rapport à ce qui est couramment observé sur le terrain. Cet effet dépend également de la forme de présentation des aliments, l'effet étant plus marqué en régime farine qu'en régime miettes (Frapin et al., 1999). Dans deux essais récents sur pondeuses (Maisonier-Grenier, 2004 - communication personnelle), une réduction de l'humidité des fientes de 76,4 à 74,9% et de 88,1 à 74,5%, suite à l'addition d'enzyme, a été observée respectivement sur des régimes à base de blé ou blé et sorgho. Par ailleurs, une réduction de la salissure des œufs a été constatée sur les régimes à base de blé, l'effet étant plus marqué pour un apport en farine (Frapin et al., 1999).

L'amélioration de la digestibilité d'aliments tant à base de blé ou d'orge qu'à base de maïs ou de sorgho se traduit par une amélioration de la qualité de la coquille au travers d'une plus grande élasticité qui pourrait ainsi permettre de réduire le risque de micro fêlures. Enfin l'homogénéité de la production est également accrue. L'amélioration de la propreté, de la pigmentation en fonction des sources lipidiques utilisées, de la matière sèche des fientes sont également des effets à considérer.

CONCLUSION

Les enzymes de type carbohydrolases par leur action sur les fibres solubles et insolubles pour celles dont le profil d'activités enzymatiques est large, améliorent les performances de ponte et réduisent leur variabilité. Mais à côté de ces effets, que l'on retrouve chez les volailles en croissance, d'autres effets ont été mis en évidence comme la

qualité des œufs avec des coquilles plus épaisses mais moins dures et donc potentiellement plus facilement déformables, ce qui pourrait permettre de réduire les risques de contamination des œufs par la réduction de la fréquence de micro fêlures et le risque de déclassement des œufs vers les casseries. Ces effets sur les coquilles, observés tant en régime blé-orge qu'en régime maïs, doivent encore être expliqués par des études plus poussées sur la mise en place de la coquille depuis la matrice organique jusqu'à la calcification. Ces bénéfices additionnels doivent donc être pris en compte lors de la valorisation économique des enzymes dans l'alimentation des poules pondeuses.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ahmed A.M.H., Rodriguez-Navarro A.B., Vidal M.L., Gautron J., Garica-Ruiz J.M., Nys, Y. 2005. Br. Poult. Sci., 46: 268-279.
- Bain, M.M., 1990. Eggshell strength: a mechanical ultra-structural evaluation. PhD Thesis, Faculty of Veterinary Medicine, University of Glasgow.
- Barrier-Guillot B., Bedford M., Metayer F., Gatel F., 1995. Sc. Techn. Avic., 13: 4-12.
- Brufau J., Cos R., Perez-Vendell A., Esteve-Garcia E., 1994. Can. J. Anim. Sci., 74: 129-133.
- Frapin D., Geraert P.A., Perez-Vendrell A. 1999. 3^{èmes} Journées de la Recherche Avicole.
- Nys Y., Gautron J., Garcia-Ruiz J.M., Hincke M.T., 2004. Comptes Rendus Palevol., 3 : 549-562.
- Sauveur, B., 1988. Reproduction des volailles et production d'œufs. Paris, INRA éditions.

Tableau 1. Schémas expérimentaux des études réalisées pour évaluer l'effet de la supplémentation enzymatique (RovabioTM Excel) sur les performances de production de la poule pondeuse.

Expérience	Régime de Base	Schéma expérimental	Période (sem.)
1. Espagne	Orge-T.soja	2 traitements x 16 répétitions x 3 cages (5 poules par cage)	22-42
2. Espagne	Blé-T.soja	2 traitements x 16 répétitions x 3 cages (5 poules par cage)	22-42
3. Espagne	Blé-Orge-T.soja	2 traitements x 16 répétitions x 3 cages (5 poules par cage)	21-48
4. France	Maïs-T.soja	2 traitements x 20 répétitions de 1 poule par cage	29-49
5. Etats-Unis	Maïs-T.soja	2 traitements x 40 répétitions de 1 poule par cage	18-36
6. Etats-Unis	Maïs-T.soja	2 traitements x 40 répétitions de 1 poule par cage	18-36
7. Mexique ¹	Sorgho-T.soja	2 traitements x 5 répétitions x 12 poules	23-33
8. Mexique ²	Sorgho-T.soja	2 traitements x 5 répétitions x 12 poules	23-33
9. Colombie ³	Maïs-T.soja	2 traitements x 4 répétitions x 10 poules	32-42
10. Australie	Sorgho-T.soja	2 traitements x 30 répétitions de 1 poule par cage	36-53
11. Australie	Sorgho-T.soja	2 traitements x 30 répétitions de 1 poule par cage	36-53
12. Thaïlande	Maïs-Son de riz-T.soja	2 traitements x 2500 poules (3 poules par cage)	25-45

¹ Supplémentation enzymatique sur des régimes reformulés (-50 kcal/kg)

² Supplémentation enzymatique sur des régimes reformulés (-75 kcal/kg)

³ Supplémentation enzymatique sur des régimes reformulés (-100 kcal/kg)

Tableau 2. Effet de la supplémentation enzymatique (Rovabio™ Excel) sur les performances de ponte, exprimées en variations sur les valeurs absolues par rapport au témoin.

Expérience	Taux de Ponte (%)	Poids Moyen de l'Oeuf (g)	Indice ¹
1. Espagne	+ 3,2	+ 0,46	- 4,2%*
2. Espagne	+ 1,5	+ 0,37	- 2,7%*
3. Espagne	+ 0,2	+ 0,51	- 2,7%*
4. France	+1,6	+ 0,52	- 4,7*
5. Etats-Unis	+ 0,2	+ 0,78	- 2,5%
6. Etats-Unis	+ 0,2	- 0,10	- 2,9%
7. Mexique	+ 2,1	+ 0,30	- 8,6%*
8. Mexique	+ 5,6	+ 0,30	- 7,0%
9. Colombie	+ 1,3	0	- 2,5%
10. Australie	+ 1,4	- 0,40	- 1,0%
11. Australie	+ 2,8	+ 1,00	- 2,4%
12. Thaïlande	+ 1,0	+ 0,20	- 2,0%*

¹ Indice : Indice de consommation exprimé en % d'amélioration; * Effet significatif avec P<0,05

Tableau 3. Effet de la supplémentation enzymatique (Rovabio™ Excel) sur la qualité des oeufs (IRTA).

Paramètre	Période (semaines)	Témoin	+ Enzyme	ANOVA
Œufs sales (%)	21-48	0,05	0,01	NS
Œufs avec défauts (%)	21-48	0,65	0,56	NS
Œufs cassés (%)	21-48	0,68 a	0,47 b	0,026
Charge à la rupture des coquilles (N)	24	35,3	34,6	NS
	28	28,7	32,6	NS
	35	30,1	34,3	NS
	39	25,1	27,7	NS
	48	29,0	29,0	NS

Tableau 4. Effet de la supplémentation enzymatique (Rovabio™ Excel) sur la distribution des poids d'oeufs (IRTA).

	Témoin			+ Enzyme		
	S	M+L	XL	S	M+L	XL
Semaine 27	5,3	92,8	1,9	3,6	95,5	0,8
Semaine 44	2,7	93,9	3,3	0,4	97,3	2,2

S= petit (43-53 g) ; M=moyen (53-63 g) ; L=gros (63-73 g) ; XL=extra-gros (>63g)

Valeurs correspondant à la moyenne de 8 répétitions par traitement et chaque répétition correspondant aux oeufs pondus pendant 3 jours.

Tableau 5. Effet de la supplémentation enzymatique (Rovabio™ Excel) sur la fragilité des oeufs (CERN et INRA).

Paramètre	Témoin	+ Enzyme	Delta (%)	ANOVA
Index (g/100cm ²)	8,21 b	8,49 a	+ 3,5	0,003
Epaisseur (mm)	0,35 b	0,36 a	+ 3,4	0,003
Kdn	13592,7	14366,9	+ 5,7	0,056
Charge à la rupture (N)	35,4	35,9	+ 1,3	NS
Elasticité (N/mm ²)	12946,6	13332,0	+ 3,0	NS
Dureté (N/mm ^{3/2})	432,8	414,3	- 4,3	0,067

COMPARAISON ENTRE UNE FORMULATION SANS GELATINE DE LA CANTHAXANTHINE ET LE CAROPHYLL® ROUGE SUR LA PIGMENTATION DU JAUNE D'ŒUF

Philipps Petra ¹, Aureli Raffaella ¹, Schierle Joseph ², Funda Elger ², Gadiant Martin ²

¹DSM Nutritional Products France, Centre de Recherche en Nutrition Animale, BP 170, 68305 Saint-Louis Cedex, France

²DSM Nutritional Products Ltd, P, O Box 3255, CH-4303 Kaiseraugst, Switzerland

RÉSUMÉ

Afin de pouvoir remplacer les ingrédients d'origine animale dans l'alimentation des volailles, une formulation de la canthaxanthine avec une matrice végétale a été développée. Les effets de cette formulation sur la pigmentation du jaune d'œuf comparés à ceux du produit CAROPHYLL® Rouge, ont été évalués dans un essai poule pondeuse de trois semaines. 192 poules pondeuses Isa Brown âgées de 49 semaines ont été réparties en 64 groupes de 3 poules, chaque poule étant logée dans une cage individuelle. Les animaux ont été nourris avec un aliment composé de blé, de riz et de soja et additionné respectivement de 2.5 mg et 5.0 mg par kg d'aliment de canthaxanthine. Deux lots (A et B) de la formulation sans gélatine et le CAROPHYLL® Rouge ont été testés. A la fin de l'essai, les deux derniers œufs de chaque poule ont été récoltés et regroupés par traitement. Des mesures de colorimétrie du jaune d'œuf ont été effectuées à l'aide du colorimètre Lab Scan XE 16436 et par notation visuelle grâce au «DSM Yolk Color Fan». Le taux de dépôt du pigment a été calculé après détermination de la concentration en canthaxanthine par chromatographie liquide à haute performance dans l'aliment et dans le jaune d'œuf. Les traitements additionnés de CAROPHYLL® Rouge montrent un taux de dépôt moyen de 39.1 %. L'addition des produits A et B dans l'aliment de base entraîne un taux de dépôt moyen respectif de 42.3% et 41.3%. Les différences entre les traitements ne sont pas significatives. De plus, la représentation linéaire ($y=a+bx$) de la concentration de la canthaxanthine dans le jaune d'œuf (y) en fonction de la concentration dans l'aliment (x) montre que les deux formulations sans gélatine A et B de la canthaxanthine sont comparables au CAROPHYLL® Rouge et peuvent donc remplacer la formulation avec gélatine sans modifier l'efficacité de pigmentation du jaune d'œuf.

ABSTRACT

Due to an increasing market interest to replace ingredients of animal origin in poultry feed, the effect on the egg yolk pigmentation of a gelatin-free formulation of canthaxanthin based on a plant-based matrix was compared to CAROPHYLL® Red in a 3-week layer trial. 192 Isa Brown laying hens (49 weeks of age) were randomly allocated to 64 groups of three hens. The animals were housed in individual battery cages and they were fed a low catonoids mash diets supplemented with 2.5 and 5.0 mg canthaxanthin per kg feed, respectively. Two batches of a gelatin-free formulation of canthaxanthin (A, B) and CAROPHYLL® Red were tested. The last two eggs layed by each hen were collected and pooled per group. Reflectance- measurements as well as a visual scoring according to the DSM color fan were performed. The concentration of the pigments in the egg yolk and in the feed was determined by HPLC for calculated the deposition rate. For the treatments supplemented with CAROPHYLL® Red, a mean deposition rate of 39.1 % was noted. The supplementation of the products A and B to the basal diet resulted in a mean deposition rate of 42.3 % and 41.3 %, respectively. The differences between the treatments were not significant. Additionally, linear regressions were calculated using the target dosages in the feed (x) and the determined concentration of canthaxanthin in the egg yolk (y). It was demonstrated that the canthaxanthin concentration in egg yolk of the treatments supplemented with the two formulations based on a plant-based matrix were comparable to the treatments supplemented with CAROPHYLL® Red and that the gelatin-free formulation of canthaxanthin could replace the gelatin formulation CAROPHYLL® Red with respect to pigmentation efficacy.

INTRODUCTION

La couleur des oeufs est un critère de choix pour les consommateurs. Elle n'affecte pas la valeur nutritive de l'oeuf mais elle dépend principalement de la nourriture consommée par les poules. La couleur n'est pas produite par l'animal, elle est apportée via l'alimentation. Il est donc nécessaire de compléter la ration avec un apport adéquat en pigment sous forme d'additif (Blount *et al.*, 2000). Les caroténoïdes largement répandus dans la nature, sont à l'origine de la pigmentation des oeufs des volailles (Grashorn *et al.*, 2002). Afin d'assurer l'absorption et le dépôt des caroténoïdes ajoutés dans l'aliment, diverses formulations de caroténoïdes, dont celle à base de gélatine, ont été proposées. Mais, pour des considérations de santé publique, il a été envisagé d'utiliser des alternatives à la gélatine comme matrice de transport dans la formulation des caroténoïdes. Aussi pour pouvoir remplacer les ingrédients d'origine animale dans l'alimentation des volailles, une formulation sans gélatine a été proposée par DSM Nutritional Products. Cette étude propose d'évaluer si l'efficacité de pigmentation du jaune d'oeuf d'une formulation de canthaxanthine sans gélatine est comparable à celle du produit standard CAROPHYLL® Rouge.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Animaux

L'essai expérimental a été réalisé au Centre de Recherches en Nutrition Animale (DSM Nutritional Products France) avec 192 poules pondeuses de lignée Isa Brown âgées de 49 semaines. Le traitement témoin était constitué de quatre répétitions, chaque répétition étant constituée de trois poules logées chacune dans une cage. Les traitements additionnés de canthaxanthine ont été répétés dix fois et de la même manière. L'essai a duré trois semaines et s'est déroulé dans des conditions de température et d'humidité contrôlées. A la fin de l'essai les deux derniers oeufs de chaque poule ont été récoltés et regroupés par traitement.

1.2. Aliments

Les animaux ont été nourris pendant les 28 jours précédents l'essai avec un aliment de base non additionné de pigment et composé de blé, de riz d'avoine et de soja. L'aliment a été formulé de manière à répondre aux besoins nutritionnels des poules pondeuses (Tableau 1). Les animaux avaient accès à l'eau et à l'aliment sous forme de farine *ad libitum*.

Pendant l'essai, le groupe témoin a été nourri avec l'aliment de base alors que les autres groupes ont été nourris avec l'aliment de base additionné des

substances de pigmentation que l'on voulait évaluer. Deux lots (A et B) de la même formulation sans gélatine et le CAROPHYLL® Rouge ont été testés à la dose de 2,5 mg et 5,0 mg de canthaxanthine par kg d'aliment. Afin d'obtenir une couleur plaisante du jaune d'oeuf, 3 mg d'apo-ester par kg d'aliment ont été rajoutés aux aliments contenant de la canthaxanthine.

1.3. Analyses biochimiques

Des mesures de colorimétrie du jaune d'oeuf ont été réalisées sur un mélange de six oeufs par répétition à l'aide du colorimètre Lab Scan XE 16436 (CIE-Lab system, Xenocolor Chromameter) et par notation visuelle grâce au «DSM Yolk Color Fan» (YCF). La concentration en canthaxanthine dans l'aliment et dans les oeufs a été déterminée par chromatographie liquide à haute performance (HPLC), (Klünter *et al.*, 1988, Schierle *et al.*, 1995). Le taux de dépôt du pigment a été calculé et correspond au pourcentage de pigment consommé par jour qui s'est déposé dans l'oeuf.

1.4. Analyses statistiques

Une analyse de variance à un facteur (ANOVA 1) est utilisée afin d'évaluer statistiquement la concentration en canthaxanthine dans le jaune d'oeuf et le taux de dépôt des différentes formulations de canthaxanthine, grâce au logiciel Stat box V.5 (Grimmersoft 1995). Les moyennes significativement différentes ($p < 0.05$) ont été comparées grâce au test de Newman Keuls. Un test non paramétrique (Kruskal-Wallis au seuil de signification $\alpha = 0.05$) a également été utilisé pour comparer la formulation avec et sans gélatine.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

La durée de l'expérience ne permet pas de tirer de conclusion quant à l'effet des produits de canthaxanthine sur les performances biologiques des animaux. Cependant, aucune différence de production d'oeufs, de poids de l'oeuf et d'ingestion d'aliment n'a été notée entre les traitements.

Les résultats d'analyses de la concentration en canthaxanthine dans l'aliment et dans le jaune d'oeuf sont présentés dans le Tableau 2. La concentration en canthaxanthine dans le jaune d'oeuf augmente significativement avec le taux d'inclusion de la canthaxanthine dans l'aliment. La différence de concentration en canthaxanthine obtenue dans le jaune d'oeuf avec le produit standard et les deux lots de la formulation sans gélatine est significative ($p < 0.01$). Une analyse de variance à deux facteurs a montré qu'il n'y a pas de différence significative pour la concentration en canthaxanthine dans le jaune d'oeuf pour les deux lots A et B ($p = 0.32$). De plus, la représentation

linéaire ($y=a+bx$) de la concentration de la canthaxanthine dans le jaune d'œuf (y) en fonction de la concentration dans l'aliment (x), montre que les deux formulations sans gélatine sont comparables au CAROPHYLL® Rouge (Figure 1). La comparaison statistique des groupes (Lot A+ Lot B) et CAROPHYLL® Rouge, par un test non paramétrique unilatéral (Kruskal-Wallis) indique, au seuil de signification $\alpha=0.05$, qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux groupes, donc entre les formulations avec et sans gélatine. La valeur moyenne du taux de dépôt de canthaxanthine dans le jaune d'œuf est indépendante du niveau d'inclusion dans l'aliment. Environ 39.1%, 42.3% et 41.3% de canthaxanthine provenant respectivement du CAROPHYLL® Rouge et des deux lots A et B de la formulation sans gélatine se sont déposés dans le jaune d'œuf (Tableau 3). La différence de dépôt entre les produits n'est pas significative ($p>0.05$). Les valeurs de colorimétrie présentées dans le Tableau 4, montrent qu'il n'y a pas de différence significative pour la pigmentation du jaune d'œuf entre les deux lots de la formulation sans gélatine quelque soit la dose d'inclusion. La pigmentation (a^*) augmente avec le taux d'incorporation du produit dans l'aliment, ce qui se caractérise par une augmentation de la valeur du YCF Elle est de plus, significativement inférieure pour le produit standard à 5.0 mg par kg d'aliment par rapport aux deux lots de la formulation sans gélatine. La saturation (C^*ab) augmente ($p>0.05$) avec la dose de canthaxanthine ajouté dans l'aliment, indiquant clairement une intensification de la couleur pour les produits formulés avec ou sans gélatine.

CONCLUSION

Les résultats obtenus au cours de cet essai ont permis de comparer deux formulations de canthaxanthine avec et sans gélatine sur l'efficacité de pigmentation du jaune d'œuf. Il n'y a pas de différences significatives entre les deux lots (A et B) de canthaxanthine formulés sans gélatine pour le taux de déposition de canthaxanthine et la concentration de canthaxanthine dans le jaune d'œuf et quelque soit le niveau d'inclusion dans l'aliment. Les deux lots A et B sont similaires. Les deux lots étant comparables, la formulation sans gélatine est stable et reproductible et peut remplacer la formulation avec gélatine CAROPHYLL® Rouge en conservant l'efficacité de pigmentation du jaune d'œuf.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Blount JD, Houston DC, Moller AP, 2002. Tr. i
eco. & evolution, 15: 47 -49
- EEC, 1986. Journ.Off.d.Comm.Europ., L130, 53-54
- Grashorn M A, Steinberg W, 2002. Arch. f.
Gefl.kunde, 66(6): 258-262
- Grimmersoft, 1995. Manual d'utilisation
- Klünter A.-M., Devaud A., Schierle J., Steinberg
W. and Schwager J., 1998. Roche Res.Rep., B-
169'117
- Steinberg W., Schwager J., 1998. Res.Rep. No. B-
169'117
- Schierle J., Faccin N. and Riegert V., 1995. In:
Analytical methods for Vitamins and
Carotenoids in Premixes and Feed (Ed. Keller
H.E.) Roche Publication, 50771, 1-5

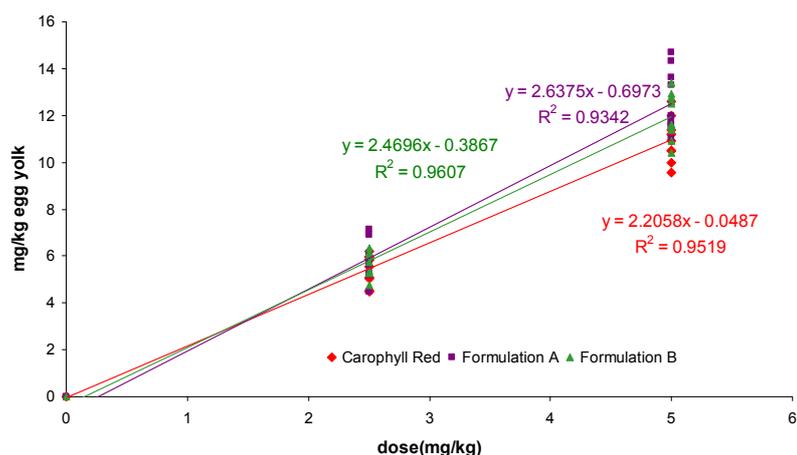
Tableau 1. Composition de l'aliment (%)

Ingrédients	
Blé	38.5
Riz	21.5
Avoine	5.5
Soja	21.0
Huile de soja	2.75
DL-Méthionine	0.05
DCP	1.7
CaCO ₃	7.9
NaCl	0.1
Premix	1.0
Protéine brute mesurée (%)	16.0
Energie Métabolisable (MJ/kg) ¹	12.1
¹ EM, calculé avec EC-equation ECC, 1986	

Tableau 2. Concentration en canthaxanthine dans l'aliment et dans le jaune d'oeuf (moyenne ± SE)

Traitements	Dose (mg/kg)	Aliment	Jaune d'oeuf
Contrôle	-		
CAROPHYLL [®] Rouge	2.5	2.01	5.5 ^B ± 0.6
CAROPHYLL [®] Rouge	5.0	5.64	10.9 ^A ± 0.9
Lot A	2.5	2.39	5.7 ^B ± 0.8
Lot A	5.0	5.80	12.6 ^A ± 1.3
Lot B	2.5	2.68	5.7 ^B ± 0.5
Lot B	5.0	5.38	12.0 ^A ± 1.0
ANOVA 2			
Produit		<i>p</i>	0.00556
Dose		<i>p</i>	<0.01
Produit x Dose			ns

A, B: les valeurs marquées avec différentes lettres sont significativement différentes p<0.05
ns: non significatif

Figure 1. Régression linéaire de la teneur en canthaxanthin dans le jaune d'oeuf (y) en fonction de la concentration dans l'aliment (x)**Tableau 3.** Taux de dépôt dans le jaune d'œufs (moyenne ± SE)

Traitement	CAROPHYLL [®] Rouge	Lot A	Lot B
Taux de dépôt (%)	39.1 ± 0.4	42.3 ± 1.0	41.3 ± 4.2
ANOVA 1	ns	ns	ns

ns: non significatif

Tableau 4. Valeurs des mesures de colorimétrie pour le jaune d'œuf (moyenne \pm SE)

Caroténoïdes	Doses (mg/kg)	Couleur rouge a*	Couleur jaune b*	Ton h*ab	Saturation C*ab	YCF
Contrôle	-	7.9 \pm 0.7	66.3 \pm 1.8	83.2 \pm 0.5	66.7 \pm 1.9	6-7
CAROPHYLL [®] Rouge	2.5	23.2 ^A \pm 1.7	67.2 ^A \pm 2.4	71.0 ^A \pm 0.8	71.1 ^A \pm 2.8	13-14
Lot A	2.5	23.3 ^A \pm 1.5	67.4 ^A \pm 2.3	71.0 ^A \pm 0.6	71.3 ^A \pm 2.6	14
Lot A	2.5	23.3 ^A \pm 1.5	67.4 ^A \pm 2.3	71.0 ^A \pm 0.6	71.3 ^A \pm 2.6	14
CAROPHYLL [®] Rouge	5.0	28.9 ^B \pm 1.1	68.1 ^A \pm 1.3	67.0 ^A \pm 0.5	74.0 ^A \pm 1.6	15
Lot A	5.0	30.2 ^A \pm 1.0	69.3 ^A \pm 1.3	66.5 ^B \pm 0.3	75.6 ^A \pm 1.6	15
Lot B	5.0	30.1 ^A \pm 0.9	69.1 ^A \pm 1.4	66.5 ^B \pm 0.3	75.4 ^A \pm 1.6	15

A, B: les valeurs marquées avec différentes lettres sont significativement différentes $p < 0.05$

COMPARAISON ENTRE UNE FORMULATION SANS GELATINE DE LA CANTHAXANTHINE ET LE CAROPHYLL[®] ROUGE SUR LA PIGMENTATION DE LA PEAU DU POULET DE CHAIR

Philipps Petra¹, Aureli Raffaella¹, Schierle Joseph², Funda Elger², Gadiant Martin²

¹DSM Nutritional Products France, Centre de Recherche en Nutrition Animale, BP 170, 68305 Saint-Louis Cedex, France, ²DSM Nutritional Products Ltd, P, O Box 3255, CH-4303 Kaiseraugst, Switzerland

RÉSUMÉ

Afin de pouvoir remplacer les ingrédients d'origine animale dans l'alimentation des volailles, une formulation de la canthaxanthine avec une matrice végétale (GfR) a été développée. Les effets de cette formulation sur la pigmentation de la peau du poulet comparé à ceux du produit formulé avec de la gélatine (CAROPHYLL[®] Rouge), ont été évalués dans un essai poulet de chair (ROSS PM3) de cinq semaines. 5 groupes de 10 animaux par sexe ont été constitués. Les animaux ont été nourris (J1-J15) avec un aliment de base granulé, pauvre en caroténoïdes, composé de blé, de riz et de soja. Puis, ils ont été nourris (J15-J36) avec le même aliment ou en ajoutant de 2 ou 4 mg par kg d'aliment de canthaxanthine sous forme de CAROPHYLL[®] Rouge ou de la formulation sans gélatine. L'aliment a été granulé à 70 ou 85°C. A la fin de l'essai cinq animaux par traitement ont été choisis pour prélever du sang dans la veine jugulaire. Des mesures de colorimétrie de la peau et des pattes ont été effectuées. La concentration en canthaxanthine dans l'aliment, dans le plasma, dans la peau du dos et dans la graisse abdominale a été déterminée par chromatographie liquide à haute performance. Les concentrations en canthaxanthine mesurées augmentent avec le niveau d'inclusion du produit dans l'aliment et, elles ne sont pas modifiées de manière significative par la température de granulation. A 2 mg par kg d'aliment de canthaxanthine ajouté, les concentrations moyennes (mg/kg) de canthaxanthine obtenues dans la graisse et le plasma avec le CAROPHYLL[®] Rouge et la formulation GfR ne sont pas significativement différentes ($p > 0.05$). Dans la peau, la différence de concentration en canthaxanthine entre les deux traitements est significative. A 4 mg par kg, les concentrations moyennes obtenues dans la peau, la graisse et le plasma, ne sont pas significativement différentes entre les deux traitements. L'essai montre que la formulation GfR est comparable au CAROPHYLL[®] Rouge et peut donc remplacer la formulation avec gélatine sans modifier l'efficacité de pigmentation.

ABSTRACT

Due to an increasing market interest to replace ingredients of animal origin in poultry feed, the effect on broiler skin pigmentation of a formulation of canthaxanthin (GfR) based on a plant-based matrix was compared to the gelatine formulation (CAROPHYLL[®] Red) in a 5-week floor-pen trial. Broiler chickens (ROSS PM3) were allocated by weight to ten treatments with groups of ten birds per sex. The birds were fed (day 1-15) a pelleted low carotenoid basal diet based on wheat, rice and soybean meal. In the following period (day 15-36) the birds were fed the basal diet alone or supplemented with CAROPHYLL[®] Red or GfR at levels of 2 or 4 mg canthaxanthin per kg. The diets were pelleted at 70 or 85°C. At the end of the trial, five birds per group were selected at random and blood samples were taken from the jugular vein. The color of the skin and of the shanks was measured by reflectance colorimetry. The concentration of canthaxanthin in samples of feed, plasma, dorsal skin and abdominal fat was determined by high performance liquid chromatography. The resultant concentration of canthaxanthin in skin, fat and plasma increased in relation to the dietary inclusion level and was not significantly affected by the pelleting temperature. At a supplementation level of 2 mg canthaxanthin per kg the mean concentrations of canthaxanthin (mg/kg) in fat and plasma were not significantly different between CAROPHYLL[®] Red and GfR. The difference was only significant in skin. At a supplementation level of 4 mg canthaxanthin per kg, the mean concentration of canthaxanthin in skin, fat and plasma were not significantly different. The results of the present trial indicated that the GfR of canthaxanthin could replace the CAROPHYLL[®] Red formulation based on gelatine with respect to pigmentation efficacy.

INTRODUCTION

La pigmentation est un critère de choix et une assurance de bonne qualité pour les consommateurs de volailles. La couleur de la peau des poulets résulte de l'addition de pigments dans l'aliment, qui se déposent dans la peau et la graisse abdominale (Perez-Vendrell *et al.*, 2001). Les caroténoïdes utilisés pour la pigmentation peuvent être d'origine naturelle ou synthétique. Parmi les pigments synthétiques développés, on trouve entre autre la canthaxanthine et l'apo caroténoïde ester (Castaneda *et al.*, 2005). La synthèse repose sur une matrice de transport qui facilite la manipulation du produit et améliore sa stabilité. La matrice la plus couramment utilisée est la gélatine d'origine animale. Cependant, pour certaines considérations de santé humaine et certaines raisons culturelles, il est envisagé de remplacer les ingrédients d'origine animale entrant dans la composition de l'alimentation des volailles. Des solutions alternatives à l'utilisation de la gélatine comme matrice de transport sont proposées. L'objectif de cette étude est de comparer l'efficacité de pigmentation d'une formulation de canthaxanthine utilisant une matrice végétale (GfR) proposée par DSM avec la formulation contenant de la gélatine du produit standard CAROPHYLL® Rouge.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Animaux

L'étude a été réalisée au Centre de Recherche en Nutrition Animale de DSM Nutritional Products France sur des poulets de chair (ROSS PM3). Les animaux âgés d'un jour ont été répartis en fonction de leur poids en dix groupes de dix animaux. Chaque traitement est répété deux fois, un groupe d'animaux mâles et un groupe d'animaux femelles. Chacun des groupes a été logé dans une cage dont le sol était recouvert de sciure. Les animaux sont identifiés par des bagues numérotées.

L'essai poulet de chair a duré cinq semaines et s'est déroulé dans un environnement contrôlé. La température de la salle d'expérimentation est adaptée en fonction de l'âge des animaux (de 30°C à 20 °C, avec perte de 2 °C tous les deux jours).

Les animaux ont été pesés par groupe le 1^{er}, le 15^{ième} et le 36^{ième} jour, afin de pouvoir calculer le gain de poids. La quantité d'aliment ingéré par cage a été mesurée afin de déterminer l'indice de consommation. A la fin de l'essai (J 36) des prises de sang intraveineuses (veine jugulaire) ont été réalisées sur cinq animaux par cage sélectionnée au hasard. Les animaux ont été ensuite abattus dans un abattoir agréé en vue d'effectuer des mesures de colorimétrie de la peau et des pattes, et des prélèvements d'échantillons de peau et de graisse abdominale.

1.2. Aliments

Les animaux avaient accès à l'aliment et à l'eau *ad libitum*. Pendant la première semaine l'aliment a été distribué sous forme de miettes puis sous forme de granulés. L'aliment de base était composé de blé, de riz et de soja et formulé de manière à répondre aux besoins nutritionnels des poulets de chair (Tableau 1). Durant les deux premières semaines, les animaux ont été nourris avec l'aliment de base sans inclusion de caroténoïdes. Puis, les trois dernières semaines de l'essai (J15 à J36) le groupe contrôle a été nourri avec l'aliment de base sans pigment et les autres groupes avec l'aliment de base suppléé avec produit standard CAROPHYLL® Rouge, ou avec la formulation sans gélatine (GfR). Les pigments ont été testés à la dose de 2.0 mg ou 4.0 mg de canthaxanthine par kg d'aliment. 15 mg d'apo-ester supplémentaire ont été rajoutés aux aliments contenant de la canthaxanthine pour augmenter le degré de pigmentation de la peau des poulets. Afin de tester la stabilité des produits, les différents traitements, obtenus après inclusion des caroténoïdes à 2.0 et 4.0 mg /kg respectivement, ont été granulés à deux températures différentes, 70 et 85 °C, avec une filière 3 x 25 mm.

1.3. Analyses biochimiques

Des mesures de colorimétrie de la peau et des pattes des poulets ont été réalisées à l'aide d'un colorimètre Minolta CR200/300 (CIE-Lab system). L'efficacité de pigmentation est définie comme le rapport de la concentration en canthaxanthine dans le tissu sur la concentration en canthaxanthine dans l'aliment. Cinq échantillons de peau et de graisse abdominale respectivement ont été prélevés par traitement et regroupés par répétition. La concentration en canthaxanthine dans l'aliment, la peau, la graisse abdominale et le plasma a été déterminée par chromatographie liquide à haute performance (HPLC) (Klünter *et al.*, 1988; Weber, 1988; Schierle *et al.*, 1995).

1.4. Analyses statistiques

Une analyse de variance à un facteur (ANOVA 1) a été utilisée afin d'évaluer statistiquement la concentration en canthaxanthine dans la peau, la graisse et le plasma des différentes formulations de canthaxanthine, grâce au logiciel Stat box V.5 (Grimmersoft 1995). Les moyennes significativement différentes ($p < 0.05$) ont été comparées grâce au test de Newman Keuls. Une analyse de variance à deux facteurs a été utilisée afin d'évaluer statistiquement les mesures de colorimétrie dans la peau et les pattes.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

La température de granulation n'a pas d'incidence sur les concentrations en canthaxanthine et apo-ester analysées dans l'aliment (Tableau 2). La concentration en canthaxanthine analysée dans l'aliment est comparable à la dose cible souhaitée.

Les résultats suivants sont donc présentés pour les deux températures de granulations ensemble.

Les produits testés n'ont pas d'effets sur les performances biologiques des animaux. Un gain de poids moyen de 1898 ± 166 et 1899 ± 232 a été obtenu respectivement pour CAROPHYLL® Rouge et GfR et 1952 ± 199 pour l'aliment de base. Un indice de consommation moyen de 1.60 ± 0.09 a été déterminé pour CAROPHYLL® Rouge et 1.62 ± 0.10 pour GfR. et 1.61 ± 0.12 pour l'aliment de base.

Les concentrations en canthaxanthine dans la peau, la graisse abdominale et le plasma augmentent proportionnellement avec la dose de produit ajouté dans l'aliment (Tableau 3). A 2 mg par kg d'aliment de canthaxanthine ajouté, les concentrations moyennes (mg/kg) de canthaxanthine obtenues dans la graisse et le plasma avec le CAROPHYLL® Rouge et la formulation GfR ne sont pas significativement différentes ($p > 0.05$). Dans la peau, la différence de concentration en canthaxanthine entre les deux produits est significative. A 4 mg par kg, les concentrations moyennes obtenues dans la peau, la graisse et le plasma, ne sont pas significativement différentes entre les deux produits. La détermination de la concentration en canthaxanthine est considérée comme un bon indicateur de dépôt du produit dans la peau et la graisse du poulet, et d'absorption dans le plasma. L'inclusion de 4 mg/kg de canthaxanthine formulé sans gélatine dans l'aliment a permis d'obtenir des concentrations de canthaxanthine numériquement plus forte, de l'ordre de 15% dans la peau, la graisse et le plasma, que celles du CAROPHYLL® Rouge à la même dose. Les différences de pigmentation de la peau, de la graisse et du plasma obtenues respectivement avec le produit formulé

sans gélatine et le produit standard ne sont pas significatives (Tableau 4). Les valeurs de colorimétrie montrent une augmentation significative de la pigmentation (b^* , h^*ab , et C^*ab) de la peau et des pattes des poulets avec le taux d'inclusion de CAROPHYLL® Rouge ou de canthaxanthine formulé sans gélatine dans l'aliment (Tableau 5). La saturation (C^*ab) augmente avec la dose de canthaxanthine indiquant clairement une intensification de la couleur pour les deux produits de canthaxanthine. A 2 mg de canthaxanthine par kg d'aliment, la différence entre les deux produits pour les paramètres b^* et C^*ab dans la peau, est significative. Les paramètres de coloration montrent que les deux produits sont totalement comparables.

CONCLUSION

La formulation sans gélatine de la canthaxanthine présente au moins la même efficacité de pigmentation du poulet de chair que la formulation avec gélatine, CAROPHYLL® Rouge. Elle peut par conséquent être utilisée à la place du produit standard, CAROPHYLL® Rouge,

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Castaneda M.P., Hirschler E.M. and Sams A.R., 2005. *Poult.Sci.* (84), 143–147
- EEC, 1986. *Journ.Off.d.Comm.Europ.*, L130, 53-54
- Grimmersoft, 1995. *Manual d'utilisation*
- Klünter A.-M., Devaud A., Schierle J., Steinberg W. and Schwager J., 1998. *Roche Res.Rep.*, B-169'117
- Perez-Vendrell A.M., Hernandez J.-M., Laurado L., Schierle J. and Brufau J., 2001. *Poult.Sci.* (80), 320-326
- Schierle J., Faccin N. and Riegert V., 1995. In: *Analytical methods for Vitamins and Carotenoids in Premixes and Feed* (Ed. Keller H.E.) Roche Publication, 50771, 1-5
- Weber S., 1988. In: *Analytical methods for Vitamins and Carotenoids in Feed* (Ed. Keller H.E.) Roche Publication, 2101, 83-85

Tableau 1. Composition de l'aliment de base (%)

Ingrédients	
Blé	37.1
Riz	20.0
Soja	35.5
Huile de soja	3.7
DL-Méthionine	0.1
DCP	2.0
CaCO ₃	0.4
NaCl	0.2
Premix	1.0
Protéine brute mesurée (%)	22.4
Energie Métabolisable (MJ/kg) calculé avec EC-equation (EEC, 1986)	12.7

Tableau 2. Concentration en caroténoïdes dans l'aliment (mg/kg)

Traitement	Dose CT*	Canthaxanthine		Apo-ester	
		70°C	85°C	70°C	85°C
Contrôle	-	-	-	-	-
CAROPHYLL [®] Rouge	2.0	2.1	2.2	15.8	14.4
CAROPHYLL [®] Rouge	4.0	4.3	3.8	14.9	14.7
GfR**	2.0	1.9	2.0	14.9	15.0
GfR**	4.0	5.2	4.1	15.1	14.3

Tableau 3. Concentration en canthaxanthine dans la peau, la graisse abdominale et le plasma (mg/kg)

	Dose CT*	Peau	Graisse abdominale	Plasma
Contrôle	-	ND	ND	ND
CAROPHYLL [®] Rouge	2.0	0.12 ^B ± 0.01	0.14 ^A ± 0.01	0.62 ^A ± 0.02
GfR**	2.0	0.17 ^A ± 0.02	0.17 ^A ± 0.03	0.67 ^A ± 0.04
CAROPHYLL [®] Rouge	4.0	0.24 ^A ± 0.04	0.28 ^A ± 0.02	1.16 ^A ± 0.07
GfR**	4.0	0.28 ^A ± 0.03	0.32 ^A ± 0.03	1.33 ^A ± 0.09

CT=Canthaxanthine; ND=Non détectable

A, B : les valeurs marquées avec différentes lettres sont significativement différentes $p < 0.05$)

Tableau 4. Efficacité de pigmentation des produits canthaxanthine (moyenne ± SE)

	Peau (%)	Graisse abdominale (%)	Plasma (%)
CAROPHYLL [®] Rouge	5.8 ± 3.1	6.7 ± 2.8	27.7 ± 10.8
GfR**	7.2 ± 2.6	7.5 ± 3.1	30.2 ± 13.9

*Teneur théorique en canthaxanthine CT

** formulation avec une matrice végétale

Tableau 5. Mesures de colorimétrie pour la peau et les pattes (moyenne \pm SE)

	Dose*	Peau				Pattes			
		a*	b*	h*ab	C*ab	a*	b*	h*ab	C*ab
Contrôle	-	9 ^A \pm 2.3	10 ^C \pm 1.4	48 ^B \pm 5.8	14 ^C \pm 2.3	1 ^A \pm 1.9	19 ^B \pm 1.8	86 ^A \pm 5.2	19 ^B \pm 1.9
CAROPHYLL [®] Rouge	2	8 ^A \pm 2.5	38 ^B \pm 3.6	78 ^A \pm 3.4	39 ^B \pm 3.7	8 ^A \pm 1.7	71 ^A \pm 3.8	84 ^A \pm 1.6	71 ^A \pm 3.7
CAROPHYLL [®] Rouge	4	10 ^A \pm 2.6	41 ^A \pm 3.6	77 ^A \pm 3.9	43 ^A \pm 3.5	9 ^A \pm 1.7	73 ^A \pm 6.1	83 ^A \pm 1.5	73 ^A \pm 6.0
Contrôle	-	9 ^A \pm 2.3	10 ^B \pm 1.4	48 ^B \pm 5.8	14 ^B \pm 2.3	1 ^B \pm 1.9	19 ^B \pm 1.8	86 ^A \pm 5.2	19 ^B \pm 1.9
GfR**	2	8 ^A \pm 2.7	41 ^A \pm 3.3	79 ^A \pm 3.2	42 ^A \pm 3.5	8 ^A \pm 2.0	71 ^A \pm 4.0	83 ^{AB} \pm 1.5	71 ^A \pm 4.0
GfR**	4	10 ^A \pm 1.7	43 ^A \pm 2.2	77 ^A \pm 2.2	44 ^A \pm 2.2	10 ^A \pm 2.6	71 ^A \pm 5.4	82 ^B \pm 1.9	72 ^A \pm 5.4
ANOVA 2									
Produit	p	0.94853	0.01	0.63325	0.02387	0.35619	0.62789	0.64059	0.67299
Dose	p	0.16025	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.001	<0.01
Produit x Dose		ns	ns						

*a** = couleur rouge; *b** = couleur jaune; *h*ab* = ton de la couleur; *C*ab* = saturation

ns: non significatif

*Teneur théorique en canthaxanthine CT

** formulation avec une matrice végétale

INFLUENCE DE LA TENEUR EN CAROTENOÏDES DE L'ŒUF SUR LE STATUT EN CAROTENOÏDES DU POUSSIN APRES ECLOSION

Karadas Filiz¹, Pappas Athanasios², Surai Peter³, Speake Brian², Coulmier Didier⁴

¹ *Department of Animal Science, University of Yüzüncü Yil, Turkey*

² *Animal Health Group, SAC, West Mains Road, Edinburgh EH9 3 JG, UK*

³ *Alltech, Alltech House, Ryhall Road, Stamford, PE9 1 TZ, UK*

⁴ *Désialis, Mont Bernard, 51007 Châlons en Champagne, France*

RÉSUMÉ

Le but de cette étude est de comparer l'efficacité de suppléments en caroténoïdes réalisés respectivement avant l'éclosion (à partir de l'aliment de la poule) et après l'éclosion (dans l'aliment du poussin) sur le statut en caroténoïdes du jeune durant les 4 premières semaines après l'éclosion. Pour cela des poules ont été nourries avec un aliment supplémenté ou non avec un extrait concentré de luzerne riche en caroténoïdes. Les œufs du lot supplémenté contenaient des teneurs 22 fois plus importantes que celles mesurées dans le lot témoin. La concentration en caroténoïdes des foies des poussins issus des œufs enrichis, était 29 fois plus forte que celle des poussins témoins. Les concentrations hépatiques des poussins issus des œufs enrichis et nourris avec un régime témoin se sont maintenues à de plus hautes valeurs que celles de poussins issus d'œufs standards nourris avec un aliment enrichi en caroténoïdes et ceci pendant au moins les 7 premiers jours après éclosion. Cependant après 14 jours, les poussins du dernier groupe ont rattrapé ceux du premier groupe. Donc sous ces conditions, l'effet parental domine pendant au moins la première semaine alors qu'à partir de 2 semaines, l'aliment devient le principal facteur déterminant le statut en caroténoïdes. Dans la mesure où les rôles anti-oxydant et immunostimulant des caroténoïdes sont importants au cours de la période suivant l'éclosion, l'ingestion de caroténoïdes par la poule pourrait avoir des conséquences sur la viabilité des jeunes, ce que semblent confirmer les mesures réalisées ici.

ABSTRACT

The aim of this study is to compare the effectiveness of pre hatch (from the hen's diet) with that of post hatch (from the progeny's diet) supplementation with carotenoids on the carotenoid status of the chick during the first four weeks of post hatch life. Hens were fed a control diet or a diet supplemented with a carotenoid-rich extract of alfalfa. Eggs from the supplemented hens contained up to 22-times more carotenoids than the controls. The concentration of carotenoids in the liver of chicks hatching from the enriched eggs was initially 29-times greater than in the control chicks. Hepatic carotenoid concentrations in chicks from enriched eggs maintained post hatch on the control diet were sustained at higher values compared with chicks from control eggs that were fed post hatch on the carotenoid supplemented diet, for at least the first seven days. However, by fourteen days, the latter group had overtaken the former in terms of liver carotenoid levels. Thus, under these conditions, maternal effects predominate for at least the first week after hatching whereas, from two weeks onwards, the progeny's diet becomes the main determinant of its carotenoid status. Since the antioxidant and immunostimulatory roles of carotenoids are likely to be especially important during the immediate post hatch period, maternal dietary intake of carotenoids may have important ramifications for the viability of the offspring.

INTRODUCTION

Les caroténoïdes sont connus pour être les pigments responsables de la couleur jaune-orangé des jaunes d'œufs (Surai, 2002). Les observations selon lesquelles les oiseaux à l'état sauvage transfèrent de grandes quantités de caroténoïdes dans leur jaune d'œuf impliquent que ces pigments aient un rôle (Speake et al., 1999 ; Surai et al., 2001). Les caroténoïdes sont des anti-oxydants liposolubles naturels qui peuvent améliorer le statut anti-oxydant de l'embryon en protégeant les tissus en développement des effets néfastes des peroxydes et des radicaux libres (Rice-Evans et al., 1997 ; Stahl et Sies, 2003). Une telle protection est importante car de nombreux tissus embryonnaires sont riches en lipides poly-insaturés eux-mêmes sensibles aux peroxydes (Speake et al., 1998). Les derniers travaux suggèrent que l'embryon bénéficie d'un système anti-oxydant intégré combinant des anti-oxydants issus du vitellus (vitamine E, caroténoïdes, sélénium) et d'autres synthétisés par lui-même (acide ascorbique, glutathione), le tout agissant en synergie (Surai, 2002). Les caroténoïdes pourraient apporter une contribution significative à ce type d'action car ce sont des capteurs de singulets oxygène et des destructeurs efficaces de radicaux libres, actifs aux basses pressions d'oxygène qui prévalent dans les tissus embryonnaires (Rice-Evans et al., 1997 ; Ar et Mover, 1994). Partant de ces faits, il a été montré que les tissus de poussins éclos d'œufs enrichis en caroténoïdes avaient une meilleure résistance à la peroxydation lipidique (Surai et Speake, 1998). Le rôle des caroténoïdes dans les fonctions immunitaires pourrait être important durant les premières heures de vies de l'animal. Chez les adultes, les caroténoïdes limitent les infections en améliorant les réponses immunitaires par médiation cellulaire ou humorale (Chew et Park, 2004).

Ainsi les caroténoïdes contenus dans le vitellus apporteraient un plus à l'embryon et de plus, induiraient des effets à long terme sur la santé de l'animal. La disponibilité des caroténoïdes pourrait être cruciale dans les jours suivant l'éclosion car les systèmes immunitaires et anti-oxydants de l'animal sont éprouvés à cette période de brutale exposition à l'oxygène atmosphérique et aux agents infectieux présents dans l'environnement. Le principal but de cette étude est de comparer l'efficacité relative d'un apport de caroténoïdes avant éclosion (via le vitellus) comparé à un apport post éclosion (via l'aliment) sur l'amélioration du statut en caroténoïdes du poussin nouvellement éclos.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Animaux et aliments

2 groupes de reproducteurs chair (*Gallus gallus f.domestica*) de souche Hubbard-ISA furent élevés à partir de 39 semaines d'âge sur 2 régimes. Le groupe Témoin a reçu un aliment standard sans caroténoïdes (56% blé, 7% cosses avoine, 21% tourteau soja, 6% huile soja, 8% CaO, 1% phosphate monosodique, 0,3% sel, 0,2% méthionine et 0,5% premix). L'autre groupe a reçu l'aliment standard enrichi à hauteur de 3% avec du PX Agro Super™ (Désialis, Châlons-en-Champagne, France). Les volatiles furent répartis sur 8 cages, chacune contenant 18 poules et 2 coqs soit 4 répétitions. Un œuf par cage, soit 4 par groupe furent collectés après 7 semaines avec ces régimes pour étudier l'enrichissement du jaune. Par ailleurs 60 œufs par cage (soit 240 par traitement) furent collectés sur le groupe Témoin (sans PX : **Poule -**) et celui recevant le régime enrichi en caroténoïdes (PX à 3% : **Poule +**) durant la septième semaine. Ces œufs ont été incubés à 37,5°C et 55% d'humidité relative dans un incubateur du commerce avec retournement automatique des œufs. Six poussins des 2 groupes (**Poule -** et **Poule +**) furent prélevés 12 heures après éclosion pour analyse des caroténoïdes du foie. Les autres poussins de 2 groupes furent séparés en 2 sous-groupes de 48 de façon aléatoire, l'un alimenté avec un régime Témoin (**Poussin -**), l'autre avec un régime enrichi en caroténoïdes (PX à 3% : **Poussin +**). Le régime Témoin était constitué de 49% blé, 9% son, 33% tourteau soja, 5% huile soja, 1% CaO, 2% phosphate monosodique, 0,2% sel, 0,2% HCO₃Ca, 0,2% méthionine, 0,1% lysine et 0,3% premix. Ces régimes furent proposés dès le premier jour après éclosion. Les 4 groupes de poussins se répartissaient comme suit : **Poule - Poussin -**, **Poule - Poussin +**, **Poule + Poussin -** et **Poule + Poussin +**. Les poussins de chacun des 4 groupes furent répartis dans 6 cages contenant chacune 8 animaux.

1.2. Analyses biochimiques

L'extraction et l'analyse des caroténoïdes ont été réalisées selon des méthodes éprouvées (Surai et al., 2001). Les échantillons (0,5 g) sont homogénéisés dans 2 ml d'un mélange (1:1, v/v) d'une solution de NaCl (5%, w/v) et d'éthanol, puis reçoivent 3 ml d'hexane et sont homogénéisés de nouveau. La phase hexane est prélevée et l'extraction à l'hexane est répétée 2 fois. Les extraits à l'hexane sont séchés sous azote et le résidu obtenu est dissous dans 1 ml d'un mélange méthanol-dichlorométhane (1:1, v/v). Les caroténoïdes sont analysés par HPLC en utilisant

une colonne phase inverse Spherisorb S30DS2, 5 μ C18, 25cm x 4,6mm (Phase Separations, Clwyd, UK). La phase mobile est constituée de mélanges d'acétonitrile-méthanol (17:3, v/v) et d'acétonitrile-dichlorométhane-méthanol (7:2:1, v/v) selon un gradient d'élution. La détection est faite par absorbance à 445 nm. Les pics sont identifiés par comparaison avec les temps de rétention-élution d'une gamme de standards de caroténoïdes connus (Sigma, Poole, UK ; Fluka, Gillingham, UK ; Apin, Abingdon, UK et Hoffmann-Laroche, Bâle, Suisse).

1.2. Analyses statistiques

Les données ont été analysées par ANOVA selon un modèle totalement randomisé avec les facteurs traitement et date de collecte. Les analyses statistiques ont été réalisées par GENSTAT® version 6 (VSN International Ltd, Hemel Hempstead, UK).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

L'analyse des 2 aliments (4 échantillons prélevés) montre que les teneurs en caroténoïdes totaux des aliments témoins et des aliments à 3% de PX étaient respectivement de $0,55 \pm 0,04$ et $25,4 \pm 1,3$ μ g/g. Ainsi le régime à 3% de PX a apporté 46 fois plus de caroténoïdes que le régime témoin. Après 3 semaines de régime, les œufs pondus par les poules supplémentées avec 3 % de PX contenaient 17,5 fois ($p < 0,0001$) de caroténoïdes totaux que ceux pondus par les poules du régime témoin. L'apport de caroténoïdes sous forme d'extrait concentré de luzerne (PX Agro Super) dans le régime des reproducteurs conduit à une augmentation de la teneur en caroténoïdes des œufs. Une petite quantité de β -carotène a été cependant retrouvée dans les œufs pondus par les poules sur régime enrichi alors que nulle trace de β -carotène n'avait été trouvée chez les animaux témoins ce qui démontre qu'un transfert de faible niveau a eu lieu entre l'aliment et les œufs.

Les éclosabilités (nombre de poussins nés ramenés sur le nombre d'œufs fertiles) à $85,8 \% \pm 7,3$ et $85,8 \% \pm 2,4$ ($n=4$ répétitions de 60 œufs par incubation) pour le témoin et le groupe 3% PX ne sont pas influencées par la supplémentation alimentaire maternelle. Cependant la variabilité des différentes séries d'incubation a été moindre pour les œufs enrichis en caroténoïdes.

Sur les poussins (48 initialement et 30 en fin de suivi) de chaque groupes qui n'ont pas été sacrifiés,

on a noté 3 et 5 morts « naturelles » pour les groupes **Poule – Poussin –** et **Poule – Poussin +** respectivement (Tableau 1). Alors qu'aucun décès n'a été enregistré dans les groupes **Poule + Poussin –** et **Poule + Poussin +**. En résumé, les poussins issus d'œufs pauvres en caroténoïdes ont connu un taux de mortalité cumulé sur 4 semaines de 13 % alors que les poussins issus d'œufs enrichis n'ont connu aucun problème.

A l'éclosion, les concentrations du foie (μ g/g tissus frais) en caroténoïdes totaux chez les poussins issus de parents avec régime standard et régime enrichi (3% PX) étaient de $1,43 \pm 0,12$ et $40,37 \pm 5,96$ respectivement ($p < 0,0001$). Ainsi on constate une augmentation de 29 fois de la teneur en caroténoïdes du foie de la progéniture selon que les parents étaient sur régime standard ou enrichi. Des modifications importantes dans l'évolution des teneurs en caroténoïdes hépatiques sont observées chez les poussins des 4 groupes (Figure 1). Il y a des effets de l'âge ($p < 0,001$), du régime des parents ($p < 0,001$) et du régime des poussins ($p > 0,001$). Des interactions âge x régime parental ($p < 0,001$), âge x régime des jeunes ($p < 0,01$) et âge x régime parental x régime des jeunes ($p < 0,01$) ont été mises en évidence. Une semaine après éclosion, les concentrations hépatiques des groupes **Poule – Poussin –**, **Poule + Poussin –** et **Poule + Poussin +** ont baissé. Dans ces 3 groupes les concentrations en caroténoïdes du foie diminuent rapidement après éclosion et particulièrement pendant la première semaine. A l'opposé nourrir avec un régime enrichi des poussins issus d'œufs pauvres en caroténoïdes (groupe **Poule – Poussin +**) conduit à une augmentation des teneurs hépatiques.

Bien que les teneurs en caroténoïdes hépatiques diminuent rapidement dans les 2 groupes **Poule + Poussin –** et **Poule + Poussin +**, les effets de la supplémentation post-éclosion sont visibles à travers les valeurs plus élevées pour le traitement **Poule + Poussin +**. Ainsi à la semaine 4, les foies des poussins du groupe **Poule + Poussin +** contenaient 14 fois plus de caroténoïdes que ceux des poussins du groupe **Poule + Poussin –**. Par ailleurs à partir de la 2^{ème} semaine, les teneurs du foie en pigments n'étaient pas différentes entre les groupes **Poule + Poussin +** et **Poule – Poussin +**, ce qui montre que le régime des poussins devenait le facteur déterminant de la teneur en caroténoïdes plutôt que le régime maternel.

L'embryogenèse dans des œufs enrichis conduit à des teneurs hépatiques en caroténoïdes à l'éclosion qui sont 10 fois plus élevées que le maximum obtenu par supplémentation tout au long de la période post-éclosion. L'embryon est capable de fixer des caroténoïdes dans son foie avec une plus grande affinité comparé au poussin après éclosion. L'explication repose sur les processus par lesquels les lipides et les composés liposolubles sont transférés depuis le jaune vers les tissus embryonnaires (Speake et al., 1998). Donc dans ces conditions le régime maternel est le principal déterminant du statut en caroténoïdes de la progéniture pendant au moins 7 jours après éclosion, alors que le régime des poussins devient prédominant à partir d'un stade situé entre 7 et 14 jours.

Les effets de la nutrition maternelle sur le niveau de caroténoïdes des tissus durent au moins une semaine après éclosion. Ceci peut il avoir une répercussion sur la santé du poussin ?

Pour une espèce comme le poulet, la consommation d'oxygène et l'activité métabolique augmentent énormément du moment de l'éclosion et juste après pour assurer les besoins de régulation thermique et de locomotion en passant d'un apport d'oxygène par voie chorioallantoïque à la respiration pulmonaire (Hohtola et Visser, 1998). Pour faire face à la brusque exposition au stress oxydatif, il est préférable d'avoir en place un système anti-oxydant efficace. Le fait que la supplémentation maternelle augmente d'une part le stock de caroténoïdes durant la phase embryonnaire, mais aussi d'autre part influence le statut en caroténoïdes du poussin durant la première semaine, suggère que ceci pourrait être un moyen efficace pour améliorer les mécanismes anti-oxydants de la progéniture. Une telle supplémentation ne serait en fait que le reflet de la réalité puisque beaucoup d'oiseaux à l'état sauvage, produisent des œufs riches en caroténoïdes qui donnent des poussins avec de hauts niveaux en caroténoïdes (Surai, 2002).

A l'éclosion le poussin subit la pression d'une multitude de parasites et doit compter sur un système immunitaire fonctionnel élaboré durant la phase embryonnaire pour faire face aux infections. Le rôle des caroténoïdes du vitellus durant l'ontogenèse du système immunitaire des oiseaux est montré par l'effet positif de la supplémentation maternelle sur les fonctions immunitaires des jeunes (Haq et al., 1996).

CONCLUSION

En conclusion, les résultats de la présente étude montrent que les caroténoïdes issus de l'alimentation maternelle fixés dans le vitellus sont utilisés par le poussin. La teneur hépatique en caroténoïdes du poussin est significativement impactée durant au moins durant sa première semaine de vie. Le rôle anti-oxydant des caroténoïdes pourrait avoir un effet sur les stress oxydatifs et parasitaires subis par le poussin lors de ses premiers jours de vie. Une meilleure résistance à ces stress devrait conduire à une diminution de la mortalité comme il est suggéré par les chiffres obtenus ici.

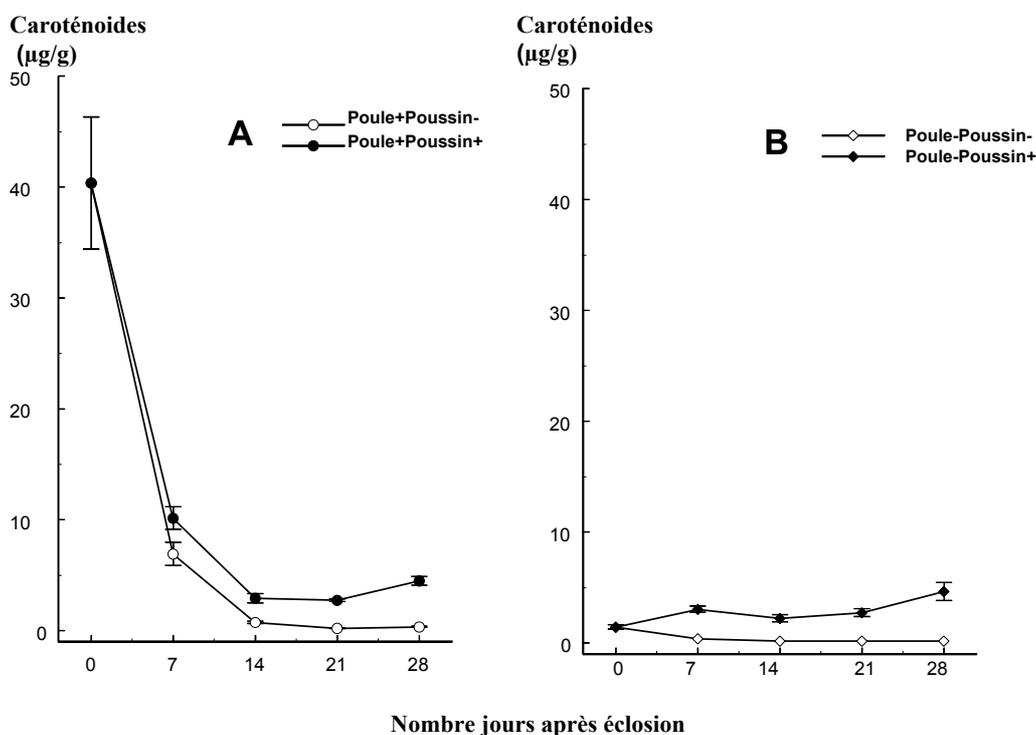
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ar A., Mover H., 1994. *Isr. J. Zool.*, 40, 307-326.
Chew B.P., Park J.S., 2004. *J. Nutr.*, 134, 257-261.
Haq A.U., Bailey C.A., Chinnah A., 1996. *Poult. Sci.*, 75, 1092-1097.
Hohtola E., Visser G.H., 1998. In : *Avian Growth and Development: Evolution within the Altricial-Precocial Spectrum.* (Starck Ricklefs Eds.) Oxford, pp. 157-173.
Rice-Evans C.A., Sampson J., Bramley P., Holloway, D.E., 1997. *Free Rad. Res.*, 26, 381-398.
Speake B.K., Murray A.M.B., Noble R.C., 1998. *Prog. Lipid Res.*, 37, 1-32.
Speake B.K., Surai P.F., Noble R.C., Beer J.V., Wood N.A.R., 1999. *Comp. Biochem. Physiol.*, B 124, 101-107.
Stahl W., Sies H., 2003. *Mol. Aspects Med.* 24, 345-351.
Surai P.F., 2002. *Natural Antioxidants in Avian Nutrition and Reproduction* Nottingham.
Surai P.F., Speake B.K., 1998. *J. Nutr. Biochem.*, 9, 645-651.
Surai P.F., Bortolotti G.R., Fidgett A.L., Blount J.D., Speake B.K., 2001. *J. Zool. Lond.*, 255, 305-312.

Tableau 1. Evolution de la mortalité des poussins issus d'œufs de poules nourries ou non avec un aliment enrichi en caroténoïdes et eux mêmes nourris ou non avec un aliment enrichi en caroténoïdes

Aliment		Temps après éclosion (semaine)			
		1	2	3	4
Poule + Poussin +	Mortalité (nb/effectif)	0/48	0/42	0/36	0/30
Poule + Poussin -	Mortalité (nb/effectif)	0/48	0/48	0/36	0/30
Poule - Poussin +	Mortalité (nb/effectif)	3/48	2/42	0/36	0/30
Poule - Poussin -	Mortalité (nb/effectif)	2/48	1/42	0/36	0/30

Figure 1. Evolutions avec le temps (jours) des teneurs hépatiques en caroténoïdes des poussins issus d'œufs enrichis (A) et pauvres (B) en caroténoïdes. **Poule+Poussin-** : aliment repro enrichi et aliment poussin pauvre (○), **Poule+Poussin+** : aliments repro et poussins enrichis (●), **Poule-Poussin-** : aliments repro et poussins pauvres (◇), **Poule-Poussin+** : aliment repro pauvre et aliment poussins enrichis (◆).



**EVALUATION DE L'EFFET PIGMENTANT DE L'APO-CAROTENE ESTER EN
SUBSTITUTION PARTIELLE A LA LUTEINE+ZEAXANTHINE
CHEZ DES POULETS JAUNES**

Castaing Julien¹, Larroudé Philippe¹, Hamelin Catherine², Hernandez Jose-Maria³

¹*ADAESO, 21 chemin de Pau, 64 121 MONTARDON*

²*DSM Nutritional Products, Tour Atlantique, 1 place de la Pyramide – La Défense 9, 92 911
PARIS La Défense*

³*DSM Nutritional Products Ltd., Bldg. 241/838, P.O.Box 3255, 4002 Basel – Switzerland*

RÉSUMÉ

Cette étude avait pour but d'évaluer le pouvoir pigmentant de l'apo-carotène ester (APO) en substitution partielle au duo lutéine + zéaxanthine (LZ) sur le filet et les pattes de poulets jaunes, selon un rapport de 1 pour 2.

Quatre aliments expérimentaux ont été testés sur deux périodes d'élevage (démarrage/croissance : 1-20 jours et finition : 21-38 jours). Par période d'élevage, la formule alimentaire de base est identique pour les quatre aliments. Elle renferme 3 ppm de canthaxanthine (CAROPHYLL® Rouge) pour obtenir une base de rouge. Le témoin T1 reçoit un apport de 30 ppm de LZ apporté par des tagètes. Dans le traitement 2, on introduit 2 ppm d'APO (CAROPHYLL® Jaune) en substitution à 4 ppm de LZ. Dans le traitement 3, le rapport est de 4 pour 8 ppm, dans le traitement 4, il est de 8 pour 16 ppm. Les niveaux de pigmentation sont mesurés en fin d'élevage sur 15 animaux prélevés au hasard dans chaque parquet d'élevage (environ 90 par traitement expérimental). Les mesures sont effectuées 24 heures *post-mortem* sur les filets et les pattes par notation avec l'éventail colorimétrique DSM BROILER Colour (prototype RVE 04/2003) puis avec le chromamètre MINOLTA. A l'issue, 4 animaux (24 par traitement) représentatifs de la coloration de chaque parquet d'élevage sont retenus pour une évaluation par Rank Test sur les carcasses et les pattes.

Le résultat global de pigmentation mesuré par les trois méthodes montre que les poulets sont tout aussi bien pigmentés avec APO en substitution de LZ aux trois taux d'incorporation. La pigmentation du filet est significativement augmentée d'une classe à l'éventail DSM Broiler Colour (108 vs 107) avec les trois doses étudiées. La pigmentation des pattes est également significativement améliorée mais à un niveau inférieur (110,8 vs 110,3). Ces résultats confirment la forte aptitude du CAROPHYLL® Jaune à pigmenter la peau et le gras sous-cutané et à un moindre degré les pattes des poulets. L'équivalence de 1 ppm d'APO pour 2 ppm de LZ est validée au vu des résultats obtenus avec les trois niveaux de substitution testés pour un total d'environ 40 ppm de xanthophylles jaunes dans les aliments.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the pigmenting capacity of apo-carotene ester (APO) in partial substitution for the lutein + zéaxanthine (LZ) on the fillet and the shanks of yellow chickens, according to a ratio of 1 per 2.

Four experimental feed were tested over two periods of breeding (starter/grower: 1-20 days and finisher: 21-38 days). Per period of breeding, the basic feed formula is identical. It contains 3 ppm canthaxanthin (CAROPHYLL® Red) to obtain a base of red. Control T1 receives 30 ppm of LZ brought by tagetes. Into treatment 2, one introduces 2 ppm APO (CAROPHYLL® Yellow) in substitution with 4 ppm of LZ. In treatment 3, the report/ratio is 4 per 8 ppm, in treatment 4, it is 8 per 16 ppm. The pigmentation levels are measured at the end of the breeding with 15 animals taken randomly in each pen (90 per treatment). The breasts and shanks measurements are done 24 hours *post-mortem* by notation with the colorimetric fan DSM BROILER Colour (prototype RVE 04/2003) and the chromameter MINOLTA. Then, 4 animals (24 per treatment) representative of the colouring of each pen are retained for a Rank Test with carcass and shanks.

The total result of pigmentation measured by the three methods shows that the chickens are just as easily pigmented with APO in substitution LZ at the three studied levels. The breast pigmentation is significantly increased by one note with the DSM Broiler Colour fan (108 vs 107) at the three studied amounts. The shank pigmentation is also significantly improved but in a less extend (110,8 vs 110,3). These results confirm the strong aptitude of the CAROPHYLL® Yellow to pigment the skin and the subcutaneous fat and for a less degree the chickens shanks. The equivalence of 1 ppm of APO for 2 ppm of LZ is validated according to these results obtained with the three levels of substitution with a total of approximately 40 ppm yellow feed xanthophylls.

INTRODUCTION

La pigmentation est un facteur important d'acceptation et de la qualité perçue des poulets chez le consommateur (Lapierre et al., 2005). La pigmentation de la volaille de table est due aux caroténoïdes présents dans leur régime alimentaire. En effet, les volailles ne pouvant pas synthétiser les caroténoïdes il est nécessaire de les apporter par l'alimentation. Tous les caroténoïdes utilisés dans l'alimentation des animaux ont été identifiés et isolés dans la nature.

Pour obtenir la couleur désirée, l'alimentation contient habituellement un mélange de caroténoïdes jaunes : apo-carotène ester, lutéine, zéaxanthine et rouge : canthaxanthine (Marusich et Bauerfeind, 1981). L'efficacité des caroténoïdes dépend à la fois de leur efficacité de dépôt dans les tissus mais aussi de leur teinte (jaune, orange, rouge). Les caroténoïdes jaunes ont une efficacité différente, qui doit être prise en compte dès la formulation des aliments.

Dans le domaine de la pigmentation du jaune de l'œuf, de nombreux travaux ont montré que l'apo-carotène ester était 3 fois plus efficace que l'association lutéine-zéaxanthine trouvée dans les ingrédients végétaux (Nys, 1999 ; Grashorn et Seehawer, 1999 ; Steinberg et al., 2001 ; Windhausen et al., 2001 ; Huyghebaert, 1991, 2004). En revanche, dans le domaine de la pigmentation du poulet jaune, aucun travail récent n'a été publié sur l'efficacité relative des caroténoïdes jaunes.

Cette étude concerne l'évaluation du pouvoir pigmentant de l'apo-carotène ester en substitution aux tagètes apportant lutéine et zéaxanthine. Les effets sont recherchés sur la pigmentation du filet et des pattes des animaux. Les performances zootechniques de consommation, de croissance et d'efficacité alimentaire sont contrôlées pour s'assurer de la validité du test à performances équivalentes. Le choix entre les deux types de pigments est guidé par le contexte économique et l'efficacité des produits ; la bonne homogénéité de la couleur obtenue avec l'Apo-carotène ester est souvent signalée par les utilisateurs qui l'utilisent entre 2 et 10 ppm.

1. MATERIEL ET METHODES

Le facteur étudié est la dose de supplémentation en apo-carotène ester apportée par le Roxafil® Amarillo D 10 (dilution du CAROPHYLL® Jaune) introduit en substitution partielle, selon le ratio 1 ppm pour 2 ppm respectivement, au couple lutéine+zéaxanthine apportées par les tagètes titrant 20 g/kg de lutéine+zéaxanthine. Le schéma expérimental comporte quatre traitements avec une composition identique en matières premières mais supplémentés en caroténoïdes chacun différemment :

Traitement 1 : + 30 ppm de lutéine/zéaxanthine
Traitement 2 : + 26 ppm de lutéine/zéaxanthine
+ 2 ppm d'apo-carotène ester
Traitement 3 : + 22 ppm de lutéine/zéaxanthine
+ 4 ppm d'apo-carotène ester
Traitement 4 : + 14 ppm de lutéine/zéaxanthine
+ 8 ppm d'apo-carotène ester

Dans chaque traitement, 3 ppm de canthaxanthine sont apportés via un prémix, dilution du "CAROPHYLL® Rouge".

1.1 Aliments expérimentaux

Les prémix sont introduits selon les traitements expérimentaux dans les aliments de démarrage-croissance (0 à 20 jours) et de finition (21 à 38 jours) distribués à volonté aux animaux.

Tableau 1. Composition, caractéristiques chimiques des aliments

Aliments	Démarrage	Finition
Composition, %		
Maïs Sud-Ouest	31,0	32,8
Blé	21,8	27,0
Tourteau de soja 48	20,0	13,0
Graine de soja extrudée	18,0	18,0
Gluten de maïs 60	3,6	3,5
Huile soja	2,0	2,5
Phosphate bicalcique	1,8	1,6
Carbonate de calcium	0,95	0,85
Prémix oligo/vitamines/ acides aminés de synthèse	0,85	0,78
Caractéristiques chimiques, g/kg brut		
Energie Mét. (EM), kcal	3045	3139
Cellulose brute	33,4	30,7
Matière grasse	71,3	76,2
Protéines brutes	222	197
Lysine	11,5	9,7
Méthionine	5,1	4,6
Méthionine + Cystine	9,0	8,2
Calcium	10,2	9,2
Phosphore disponible	4,3	4,0
Caroténoïdes, ppm		
Lutéine + zéaxanthine (1)	16	16
Lutéine + zéaxanthine (2)	Protocole	Protocole
Apo-carotène ester (2)	Protocole	Protocole
Canthaxanthine	3	3

(1) apportées par les matières premières,

(2) apportées par les prémix expérimentaux.

Les aliments sont présentés en miettes la première semaine puis en granulés de 2,5 mm de diamètre après granulation à sec.

1.2 Animaux

L'expérimentation est conduite avec 960 poulets de souche ROSS 308 ; il y a 6 répétitions de parquet avec 40 poulets par parquet (22 poulets / m²) pour chacun des quatre traitements. Elle a été réalisée dans le bâtiment volailles de chair de l'ADÆSO à Montardon (64121) du 8 avril au 17 mai 2005.

1.3 Contrôles

• Performances

Les animaux identifiés individuellement sont pesés à 20 et 38 jours d'âge. Les consommations hebdomadaires et indice de consommation sont mesurés et calculés à chaque période par parquet d'élevage pour s'assurer du bon déroulement zootechnique de l'essai.

• Mesure de la pigmentation

Le contrôle de pigmentation est réalisé sur les carcasses de poulets prélevés par parquet d'élevage. A 38 jours, 15 animaux pris au hasard dans chacun des 6 parquets d'élevage de chaque traitement expérimental sont abattus. Les carcasses ressuées pendant 24 heures à 4°C font ensuite l'objet, en premier, d'une notation de pigmentation des filets (partie grasseuse du bréchet) et des pattes selon deux approches :

- Notation visuelle avec l'éventail colorimétrique DSM – Broiler Colour FAN – Prototype RVE 04/2003. Les travaux conduits dans cette étude avec ce prototype ont été utilisés pour la mise au point de l'éventail colorimétrique définitif DSM (Hamelin et al., 2007).

- Mesure objective au chromamètre MINOLTA (*espace L*, a*, b**). équipé d'une tête de lecture CR-300 de 8 mm de diamètre, étalonné et calibré selon l'espace couleur Hunter (Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) - 1976): luminosité (L), rouge (a) et jaune (b) et avec l'illuminant standard C Lumière du jour moyenne ne comprenant pas la zone des ultraviolets.

Dans un deuxième temps, un Rank test de synthèse est organisé (Braunlich, 1974). Parmi les 15 animaux contrôlés précédemment issus de chacun des 24 parquets d'élevage, 4 poulets font l'objet d'un échantillonnage représentatif des pigmentations observées sur le lot. Positionnés sur le dos sans repère visible, les 96 animaux sélectionnés (4 x 24) sont classés par un premier juge selon la couleur de la carcasse, dans une graduation du moins coloré au plus coloré. Ensuite, un deuxième juge, réalise les modifications de classement qui lui paraissent nécessaires. Un troisième juge, réalise lui aussi les modifications de classement qui lui semblent pertinentes. Enfin les trois juges se mettent d'accord sur le classement final et attribuent une position de

pigmentation allant de 1, pour la carcasse la moins colorée, à 96 pour la carcasse la plus colorée. Le relevé des identifiants et de leur position de pigmentation peut alors s'effectuer. La position moyenne de chaque traitement est alors calculée. La même opération est réalisée pour la pigmentation des pattes.

• Analyses statistiques

Les données sont traitées par analyse de variance à l'aide du logiciel statistique SAS (procédure GLM). Dans les tableaux de résultats, les moyennes sont significativement différentes au seuil P<0,001 pour ***, P compris entre 0,001 et 0,01 pour **, P compris entre 0,01 et 0,05 pour * (test de Newman et Keuls). NS : P>0,20, il n'y a pas de différence significative. Pour P compris entre 0,05 et 0,20, les probabilités sont indiquées et les résultats commentés en tendance.

2. RESULTATS

2.1 Caractéristiques aliments

Les caractéristiques chimiques des aliments sont conformes aux valeurs prévisionnelles pour la protéine et la cellulose. Les niveaux de matière grasse sont légèrement plus élevés pour les traitements 2, 3 et 4 de la période démarrage-croissance.

Les niveaux de caroténoïdes analysés par HPLC (Schierle et al., 1995) pour les teneurs en caroténoïdes (lutéine, zéaxanthine et apo-carotène ester) sont tout à fait conformes aux valeurs prévisionnelles. Les taux de recouvrement varient de 82 à 105 % (tableau 2). Le niveau global est d'environ 40 ppm de xanthophylles jaunes.

Tableau 2. Teneurs en caroténoïdes des aliments, ppm et % de la valeur théorique

Traitement	1	2	3	4
Démarrage				
- LZ	41,5 (90)	43,9 (105)	39,7 (104)	32,8 (109)
- APO	< ld (1)	2,0 (101)	4,2 (105)	7,1 (118)
Finition				
- LZ	43,3 (94)	37,6 (89)	37,3 (98)	30,6 (102)
- APO	< ld	1,7 (82)	3,5 (88)	6,5 (108)

(1) <ld : inférieur à la limite de détection analytique

2.2 Performances zootechniques

Les performances zootechniques de la période totale, sont similaires entre traitements étudiés : pour une consommation moyenne d'aliment de 3434 g, le poids moyen des animaux à 38 jours est de 2038 g et l'indice de consommation de 1.69 kg/kg.

2.3 Evaluation de la pigmentation

Les résultats des analyses de variance des données de pigmentation des filets ou des pattes proviennent du

prélèvement aléatoire intra traitement des carcasses de même gabarit. Le poids moyen des poulets est équivalent entre traitements, et représentatif des résultats de croissance de l'essai (tableaux 3 et 4).

Selon l'Eventail colorimétrique Poulets de DSM, l'utilisation d'apo-carotène ester en substitution partielle à l'association "lutéine+zéaxanthine" des tagètes donne des notes supérieures de pigmentation. Pour les filets, l'écart est de 1,1 point et cet écart est hautement significatif. Les notes attribuées aux animaux des traitements 2, 3 et 4 sont identiques. Pour les pattes, l'écart de pigmentation est moins important (0,5 point en moyenne) mais reste hautement significatif. De même que pour les filets, il n'y a pas de différence de pigmentation des pattes entre les traitements 2, 3, 4.

Avec le chromamètre Minolta dans l'espace L*, a*, b*, les mesures effectuées sur les filets font apparaître un effet des régimes alimentaires supérieur à celui mesuré sur les pattes. L'apport d'apo-carotène ester donne une peau de clarté (L*) inférieure dès 2 ppm d'apport et simultanément des teintes significativement plus rouges (a*) et plus jaunes (b*) à 4 et 8 ppm d'apport (respectivement 2,70 pour la valeur a* et 34,9 pour la valeur b* en moyenne pour les traitements T3 et T4 vs 2,01 et 33,4 pour le traitement témoin). Le traitement 2 est intermédiaire pour ces critères.

Les pattes apparaissent significativement moins claires pour les animaux ayant reçu le traitement T4 par rapport au traitement T3 mais ces deux valeurs sont identiques aux traitements T1 (Témoin) et T2. Pour les teintes rouge et jaune, il n'y a pas de différence significative. Pour la valeur a*, les résultats sont très proches ; pour la valeur b* (P=0,18) il semble qu'il y ait une progression jusque T3 mais T4 est au même niveau que le témoin.

Les Rank tests (tableau 4) réalisés sur les carcasses et les pattes font apparaître des tendances. Sur les carcasses, les animaux du traitement 1 semblent moins pigmentés (P=0,19) que ceux des autres traitements. Sur les pattes (P=0,08), les animaux du traitement 4 apparaissent plus pigmentés que ceux des traitements 1, 2, et 3.

DISCUSSION - CONCLUSION

Le pouvoir pigmentant de l'apo-carotène ester sur les tissus de poulets jaunes est au minimum de 2 fois celui du duo lutéine + zéaxanthine au vu des résultats de pigmentation des filets et des pattes observés dans cet essai.

Les résultats de pigmentation mesurés, uniquement en fin d'élevage après l'abattage et ressuyage, par trois méthodes (Eventail colorimétrique, Chromamètre et Rank test) montrent que les poulets sont au moins aussi bien pigmentés avec l'apo-carotène ester en

substitution des tagètes. La pigmentation de la peau est augmentée visuellement quelle que soit la dose. Cependant la pigmentation évolue progressivement pour les couleurs rouges (a*) et jaunes (b*) lorsqu'elle est mesurée avec le chromamètre pour les filets. Ce résultat n'étant pas visible à l'œil nu (Rank Test) nous retiendrons l'effet similaire voire améliorateur de l'Apo-carotène ester indépendamment de la dose utilisée dans la gamme étudiée.

Les poulets correspondaient bien du point de vue de la pigmentation au standard demandé dans le sud-ouest, marché traditionnel du poulet jaune. Ces résultats confirment la bonne efficacité de l'apo-carotène pour la pigmentation de la peau et du gras sous-cutané. Pour les pattes, la source d'apport en caroténoïdes jaunes a moins d'influence. Il est en effet admis que les caroténoïdes rouges ont plus d'effet car ils se déposent mieux dans les pattes que les caroténoïdes jaunes.

Selon ces résultats, l'équivalence de 1 ppm d'apo-carotène ester pour 2 ppm de lutéine-zéaxanthine est validée dans ce type d'aliment à 40 ppm de xanthophylles jaunes totaux. En ce qui concerne la pigmentation du filet, cette équivalence pourrait même être supérieure à 2 pour 1, mais le protocole de la présente étude ne permet pas de l'évaluer.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Braunlich, K., 1974. XV World's Poultry. Congress, New Orleans, USA, 236-239.
- Lapierre, O., Pressenda, F., Tran, G., Tristant, D., Wisner-Bourgeois, C., Lévy, C., Besnard, J., Hamelin, C., Hernandez, J.M., 2005. 6th Conference on Poultry Research, St Malo, France, 15-19.
- Nys, Y., 1999. Journées de la Recherche Avicole, St Malo, France, 3, 423-426.
- Grashorn, Seehawer, 1999. 8th Eur.Symp.Quality Eggs and Egg products, Italy, 163-166.
- Hamelin, C., Hernandez, J.M., Fagoaga, N., 2007. Journées de la Recherche Avicole, Tours, France, 7, *sous presse*.
- Huyghebaert, G., 1991. 4th European Symp. on Quality of Eggs and Egg Products, Doorwerth, Netherlands, 269-278.
- Huyghebaert, G., 2004. 22° World Poultry Congress Istanbul, Turkey, 1-5.
- Marusich W.L., Bauernfein, J.C., 1981. Oxy-carotenoids in poultry feeds. In: Ed. Bauernfein, J.C. Academic Press, New York, USA, 320-341.
- Schierle J., Faccin N., Riegert V., 1995. Analytical methods for vitamins and carotenoids in Feed. Hoffmann-La Roche Publ. 50771, pp5.

Steinberg, W., Klüenter, A.M., 2001, 9th Eur. Symp. Quality Eggs and Egg products, Turkey, 151-156.

Tableau 3. Mesures de pigmentation réalisées sur les filets et sur les pattes à 38 jours.

Traitement	1	2	3	4	Moyenne	ETR	Prob. H0 (1)
Lutéine + zéaxanthine	30	26	22	14			
Apo-carotène ester	0	2	4	8			
Animaux contrôlés	87	87	85	93			
Poids, g	2040	2017	2078	2044	2044	214	NS
Filet (Partie grasseuse)							
Eventail colorimétrique DSM	107,0 b	108,1 a	108,1 a	108,1 a	107,8	0,7	***
Chromamètre Minolta							
L*	76,0 a	75,4 b	75,6 ab	75,5 ab	75,6	1,4	*
a*	2,01 b	2,43 ab	2,56 a	2,85 a	2,47	1,49	**
b*	33,4 b	34,1 ab	34,9 a	34,8 a	34,3	2,9	**
Pattes							
Eventail colorimétrique DSM	110,3 b	110,9 a	110,7 a	110,8 a	110,7	0,8	***
Chromamètre Minolta							
L*	73,4 ab	73,4 ab	73,8 a	73,1 b	73,4	1,7	*
a*	6,78	7,04	6,65	6,95	6,86	1,75	NS
b*	53,9	54,6	55,0	54,0	54,3	3,8	0,18

(1) NS : P > 0,20 ; * : P compris entre 0,01 et 0,05 ; ** : P compris entre 0,001 et 0,01 ; *** P < 0,001

Tableau 4. Rank test sur les carcasses et les pattes

Traitement	1	2	3	4	Moyenne	ETR	Prob. H0 (1)
Lutéine + zéaxanthine	30	26	22	14			
Apo-carotène ester	0	2	4	8			
Animaux contrôlés	24	24	24	24	-	-	-
Poids, g	2050	2032	2081	2034	2049	81	NS
Note moyenne Carcasses	38,8	51,0	55,6	46,8	48,5	27,3	0,19
<i>Ecart-type</i>	±29,5	±28,3	±27,9	±23,1			
Note moyenne Pattes	45,6	40,6	47,3	60,5	48,5	27,3	0,08
<i>Ecart-type</i>	±29,4	±22,7	±28,3	±28,3			

(1) NS : P > 0,20 ; * : P compris entre 0,01 et 0,05 ; ** : P compris entre 0,001 et 0,01 ; *** P < 0,001

EFFET DE DEUX NIVEAUX D'APPORTS EN VITAMINES SUR LES PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES DE POULETS TYPE LABELS

Castaing Julien¹, Larroudé Philippe¹, Hamelin Catherine², Ball Andrew³

¹ADÆSO - 21, Chemin de Pau - 64121 Montardon,

² DSM Nutritional Products, Tour Atlantique, 1 place de la Pyramide – La Défense 9, 92 911 PARIS La Défense Cedex.

³DSM Nutritional Products – Heanor, Derbyshire, DE75 7SG, UK

RÉSUMÉ

Deux aliments comportant des niveaux d'apports en vitamines différents sont évalués sur les performances zootechniques de poulets de type Label Rouge à croissance lente. Le niveau témoin est le reflet des pratiques de supplémentation vitaminique réalisées en France. Le niveau testé issu des tables OVNTM recommandées par DSM Nutritional Products présente une teneur renforcée pour 13 vitamines (A, D₃, E, K₃, B₁, B₂, B₆, B₁₂, Niacine, Acide pantothénique, Acide folique, Biotine et C) par rapport au témoin selon la vitamine et la période d'élevage. Le niveau OVNTM conduit à une amélioration des performances de croissance en démarrage en relation avec une consommation plus élevée. Ainsi, de 0 à 25 jours, avec OVNTM, l'ingéré et la croissance sont augmentés respectivement de 1,4 et 2,3 %. Cet effet significatif, est prolongé chez les femelles entre 26 et 56 jours de 2,4 % ; il est à mettre en relation avec une consommation moyenne significativement supérieure de 2,3 %. Par la suite il n'y a pas d'effet traitement ; en conséquence, à la fin de l'expérience à 77 jours, les performances moyennes de croissance ne sont pas significativement différentes mais ont tendance à être supérieures avec OVNTM. L'efficacité alimentaire est identique à chaque période. Le taux de mortalité global est réduit de plus de 50 % (2,0 vs 4,7 % pour le témoin). Au niveau qualitatif, l'emplumement des animaux mâles est plus avancé avec OVNTM quel que soit l'âge d'observation.

ABSTRACT

Two feed with different vitamins levels have been evaluated for zootechnical performances of Label Rouge chickens, slow growth strains. The control level is the reflection of the vitamin supplementation practices carried out in France. The tested level resulting from tables OVNTM recommended by DSM Nutritional Products presents a reinforced content in 13 vitamins (A, D₃, E, K₃, B₁, B₂, B₆, B₁₂, Niacin, pantothenic acid, folic acid, Biotin and C) until compared to the control according to the vitamin and period of breeding. The level OVNTM led to an improvement of the growth in the starting period linked with a higher intake. Thus, by 0 to 25 days, with OVNTM the intake and the growth are increased respectively by 1,4 and 2,3 %. This significant effect, is prolonged in the females between 26 and 56 days by 2,4 % ; which is linked an significantly higher average intake by 2,3 %. Thereafter there is no treatment effect; consequently, at the end of the experiment at 77 days, the average growth is not significantly different but tend to be higher with OVNTM. The feed conversion is identical at each period. The total mortality rate is reduced by more than 50 % (2,0 vs 4,7 % for the control). At the qualitative level, the male feathering is more advanced with OVNTM whatever the age.

INTRODUCTION

La production de poulets à croissance lente nécessite des références en matière d'apports vitaminiques en relation avec ses propres itinéraires techniques de production différents de ceux de l'élevage industriel.

Les vitamines, intervenant à différents niveaux de la vie cellulaire, sont des substances essentielles à la vie des animaux. Au sein de l'organisme, chacune d'entre elles a une ou plusieurs fonctions spécifiques, bien connues pour certaines (vitamines A, D₃, E, C et niacine), moins connues pour d'autres (vitamines K₃, B₁, B₆ et B₁₂). Ainsi des effets positifs de niveaux plus élevés que les recommandations de l'INRA (Larbier et Leclerc, 1992) ont été mis en évidence en production de volailles industrielles. En voici quelques exemples :

- sur les performances zootechniques par Kennedy et al. (1992) pour la vitamine E, par Whitehead (2000) pour la Niacine,
- sur la réponse immunitaire par Allen et al. (1996) pour la vitamine A, par Franchini et al. (1986) et Colnago et al. (1984) pour la vitamine E,
- sur la résistance à la chaleur par Daghir (1995) pour la vitamine C,
- sur l'ossification et la résistance osseuse par Orban et al. (1993) pour la vitamine C et Rennie et Whitehead (1996) pour la vitamine D₃,
- sur la qualité de la viande par Sheldon et al. (1997) pour la vitamine E agissant comme un antioxydant.

Autant de points à examiner dans le cadre de la production "Label" où le besoin nutritionnel minimum réel en vitamines n'a pas été déterminé. Les pratiques s'appuient sur des déterminations réalisées pour le poulet industriel. Les références de base sont les besoins publiés par le NRC en 1994, réévalués par Whitehead en 2000 pour quelques vitamines ; les organisations de production les adaptent à leurs conditions réelles d'élevage. En effet, en pratique, les performances optimales au sens large, y compris le bien-être et la qualité des produits, ne peuvent être obtenues en apportant les besoins minimums en vitamines, mesurés dans des conditions idéales. Des marges de sécurité doivent être prises (Mac Dowell, 2005).

Les cahiers des charges de ce type de production contraignent les formulateurs à respecter des apports élevés en céréales et co-produits, matières premières pauvres en certaines vitamines. Il est alors indispensable de réaliser un apport vitaminique par l'intermédiaire d'un prémix adapté. Cependant quel niveau de vitamines faut-il incorporer dans l'aliment et surtout dans l'attente de quels effets bénéfiques? Les niveaux d'apports sont ajustés afin de bénéficier d'effets cumulés sur les performances zootechniques, le statut immunitaire de l'animal et la qualité de la viande.

La présente expérience a pour objectif de mesurer l'effet des recommandations OVNTM (Optimum Vitamin Nutrition), composées de niveaux vitaminiques ajustés, sur les performances zootechniques de poulets de chair à croissance lente de type "label" élevés pendant 77 jours.

1. MATERIELS ET METHODES

Deux traitements expérimentaux (témoin et OVNTM), différant par le prémix de vitamines incorporé (tableau 1), sont testés sur trois périodes d'élevage (démarrage de 1 à 25 jours : période P1, croissance de 26 à 56 jours : période P2 et finition de 57 à 77 jours : période P3, ces trois périodes étant regroupées en une période totale PT).

L'expérimentation est réalisée dans le bâtiment volailles de chair de l'ADÆSO à Montardon (64121) d'octobre 2002 à janvier 2003

1.1 Aliments expérimentaux

Les prémix vitamines sont préparés par la société DSM Nutritional Products sur support blé et incorporé à 1% dans l'aliment. Les aliments P1, P2 et P3 sont composés respectivement de 65,7 – 75,2 et 76,7 % de céréales (2/3 maïs-1/3 blé) d'issues gluten de maïs et son de blé, de 23,5 – 22,2 et 17,5 de tourteau de soja (5% de tourteau de tournesol en démarrage), de 1 % d'huile de soja et de 3,8 % d'aliment complémentaire minéral. Ils sont caractérisés par 2760 kcal d'EM/kg et 213 g de MAT/kg pour P1, 2870 et 180 pour P2 et 2920 et 162 pour P3.

Le prémix témoin dont la composition est basée sur l'enquête CEREOPA-DSM (2002), reflète les pratiques françaises de supplémentation vitaminique. Le prémix OVNTM s'appuie sur les recommandations de DSM et a des teneurs renforcées pour 13 vitamines (tableau 1).

Les teneurs en oligo-éléments des deux prémix sont les suivantes (mg / kg) : cuivre (10), zinc (50), fer (40), manganèse (60), iode (0,35), sélénium (0,15) et cobalt (0,20) pour toute la durée d'élevage. Les teneurs en choline sont de 500 mg / kg pour chacune des périodes. En finition, un apport supplémentaire de xanthophylles est nécessaire pour atteindre les 45 ppm préconisés pour la production de poulets jaunes.

Les aliments sont présentés en miettes pour P1 puis en granulés de 2,8 mm issus d'une granulation à sec.

1.2 Animaux

968 poussins sexés mâles et femelles de souche CNJ 757 N à « cou nu » de 40 g de poids vif en moyenne sont mis en place le jour de l'éclosion dans le bâtiment. Ils sont répartis aléatoirement sur les 22 parquets d'élevage de 4 m² chacun à raison de 44 poulets (22 mâles et 22 femelles) par parquet (11/m²) et conduits en claustration selon un programme lumineux (16 heures d'éclairage).

1.3 Contrôles

Les animaux identifiés individuellement sont pesés à 25, 56 et 77 jours d'âge. Eau et aliment sont fournis à volonté. Les consommations hebdomadaires sont contrôlées et les indices de consommation calculés par parquet d'élevage et par animal pour chaque période d'élevage et sur la durée totale. L'index de performance (IP) est calculé selon la formule : $I.P. = [GMQ(g/j) \times Viabilité \times 10] / IC$.

Des notations individuelles d'emplumement sur le dos sont réalisées à 55 et 77 jours d'âge selon la grille suivante : note A - Plumes du dos entièrement recouvrantes, note B - Plumes du dos partiellement recouvrantes, note C - Plumes en cours de développement, note D - Aucune plume sortie.

Des notations de l'état du bréchet sont réalisées en fin d'élevage selon la grille suivante : note 0 - absence de lésions, note 1 - inflammation, note 2 - lésion/plaie prononcée.

1.4 Analyses statistiques

Les données sont traitées par analyse de variance à l'aide du logiciel statistique SAS (procédure GLM). Dans les tableaux de résultats, les moyennes sont significativement différentes au seuil $P < 0,001$ pour ***, P compris entre 0,001 et 0,01 pour **, P compris entre 0,01 et 0,05 pour * (test de Newman et Keuls). NS : $P > 0,20$, il n'y a pas de différence significative. Pour P compris entre 0,05 et 0,20, les probabilités sont indiquées et les résultats commentés en tendance.

2. RESULTATS

2.1 Caractéristiques des aliments (tableau 1)

Les prémix ont été analysés pour leur teneur en vitamines E, B1, B2, B6, PP, Acide Folique et Biotine. Les résultats d'analyses sont conformes aux valeurs attendues pour OVNTM. Pour l'aliment témoin, les valeurs analysées sont supérieures aux valeurs attendues. Ainsi l'écart prévisionnel entre aliments apparaît réduit pour l'ensemble des vitamines analysées.

2.2 Résultats zootechniques (tableau 2)

Pour la période de démarrage P1, les animaux alimentés avec l'aliment OVNTM ont des performances de croissance significativement supérieures de 2,3 % à celles obtenues avec l'aliment témoin. L'effet OVNTM est observé pour les deux sexes mais apparaît plus marqué dans le cas des femelles (+2,6 % vs +1,4 % pour les mâles). Le niveau de performance plus élevé est à mettre en relation avec une consommation d'aliment significativement plus importante de +1,4 %. Les indices de consommation sont identiques.

Pour la période de croissance P2, le niveau de consommation est toujours significativement plus élevé de 2,3 %. Une interaction traitement expérimental-sexe significative apparaît sur la croissance, l'effet OVNTM est fortement marqué dans le cas des femelles (+2,4%) et identique pour les mâles. Le gain de poids moyen (tous sexes confondus) est légèrement supérieur avec l'aliment OVNTM de 1,3 %. Il n'y a toujours pas de différence significative sur l'indice de consommation.

Pour la période de finition P3, les niveaux de consommation sont identiques. Il n'est pas observé de différence significative sur la croissance des animaux. L'efficacité alimentaire semble légèrement améliorée ($P=0,10$) avec l'aliment OVNTM.

Sur la période totale PT, les performances ne sont pas significativement différentes au seuil $P < 0,05$; toutefois les tendances, conséquences de la période de démarrage, méritent d'être commentées. La consommation d'aliment est légèrement plus élevée chez les animaux du traitement OVNTM (+0,9 % ; $P=0,17$). Les effets de surconsommation observés en début d'élevage sont atténués par l'égalité de niveaux en finition. Cette surconsommation entraîne cependant un poids de fin d'élevage supérieur de 1,2 % ($P=0,18$). L'effet OVNTM apparaît marqué chez les femelles (+1,8 %) alors que pour les mâles, le poids à 77 jours est identique entre traitements. La distribution d'aliment OVNTM n'a pas eu d'effet sur l'efficacité alimentaire, les indices de consommation et les index de performance sont identiques pour le témoin et l'aliment OVNTM.

Les notations d'emplumement font apparaître des différences entre sexes ; les femelles ont un emplumement plus avancé que les mâles. Pour les mâles quel que soit l'âge, on constate que les animaux alimentés avec le traitement OVNTM ont tendance à avoir un emplumement plus avancé que les témoins. Ceci n'est pas observé chez les femelles car probablement la précocité nivelle les écarts aux dates d'observations.

Les notations de l'état des bréchets réalisées à 77 jours d'âge montrent qu'il n'y a pas de différence entre traitements ; les niveaux se situent à 35% de note optimale en moyenne.

Le taux de mortalité ($P=0,19$) apparaît supérieur pour le témoin (4,7% vs 2,0% pour OVNTM). Il est observé essentiellement en début d'élevage.

CONCLUSION – DISCUSSION

Chez le poulet à croissance lente, un effet OVNTM est observé dès la première période d'élevage pour les deux sexes puis une interaction traitement-sexe significative est constatée en deuxième période marquant la continuité de l'effet OVNTM sur la croissance des femelles. Pour la troisième période d'élevage les performances ne sont pas significativement différentes. L'effet OVNTM est au final marqué sur le poids des femelles (+1,8 %), reflétant l'acquis en démarrage, alors qu'il y a égalité de poids chez les mâles. Globalement, le taux de mortalité est réduit dès le démarrage pour OVNTM (2,0 % vs 4,7 % pour le témoin). Sur l'emplumement, il est observé une tendance à l'amélioration de l'état d'emplumement avec l'aliment OVNTM dans le cas des mâles quelque soit l'âge de l'animal. Pour les femelles, leur précocité cache vraisemblablement cet effet traitement en liaison avec des dates d'observations tardives. Aucune différence significative entre traitement n'a été observée sur l'état des bréchets.

Chez des poulets standards, le prémix vitamines OVNTM permet une augmentation des performances de croissance et une meilleure efficacité alimentaire (Perez Vendrell et al., 2003 ; Castaing et al., 2003). Ici chez les poulets labels, une augmentation de la consommation accompagne une croissance plus élevée au démarrage des animaux. Quelles seraient les vitamines à l'origine de ces résultats ? En ce qui concerne l'acide folique, la niacine et la biotine, les niveaux OVNTM sont proches des besoins déterminés par Whitehead (2002). Selon ce même auteur, ces trois vitamines accompagnées de la vitamine B₁₂ et de l'acide pantothénique à des niveaux supérieurs contribuent à améliorer le développement corporel des animaux.

Le besoin augmente avec la sélection d'animaux à plus fort potentiel musculaire (Stahly et Cook, 1996). Ainsi, il semblerait que les niveaux de supplémentation utilisés dans le témoin puissent avoir été limitants, ce qui a pénalisé le potentiel de développement surtout en démarrage. De plus, dans ce contexte de production, l'utilisation d'aliments "tout végétal" à fort pourcentage de céréales (2/3 maïs-1/3 blé) justifie un raisonnement d'apports vitaminiques adaptés. L'augmentation des apports vitaminiques alimentaires avec OVNTM semble se justifier d'autant plus que les effets observés en début de croissance peuvent avoir des conséquences bénéfiques au niveau des masses musculaires.

Vu l'amélioration de performances et la réduction de mortalité en démarrage qui doivent compenser le surcoût vitaminique, le système français d'intégration peut également faciliter l'adoption de niveaux vitaminiques soutenus chez le poulet "label" à croissance lente.

Des travaux complémentaires tant au niveau zootechnique que qualitatif s'imposent et sont nécessaires afin de connaître les taux de vitamines à incorporer dans l'alimentation de ces animaux dans l'optique d'atteindre les performances optimales correspondant au meilleur compromis technico-économique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Allen P.C., Danforth H.D., Morris V.C. and Levander O.A., 1996. *Poult.Sci.*, 75, 966.
- Castaing Julien, Larroudé Philippe, Peyhorgue Alain, Hamelin Catherine, Maaroufi Chiraze, 2003. *Journées de la Recherche Avicole*, 5, 261-264.
- Colnago G.L., Jensen L.S. and Long P.L., 1984. *Poult.Sci.*, 63, 1136.
- Daghir N.J., 1995. *Poultry production in hot climates* 185-218 / REF. 125.
- Enquête CEREOPA-DSM, 2002. Etude interne DSM.
- Franchini A., Bertuzzi S. and Meluzzi A., 1986. *Clin.Vet.* 109, 117-127.
- Kennedy D.G., Rice D.A., Bruce D.W., Goodall E.A. and McIlroy S.G., 1992. *Br.Poult.Sci.*, 33, 1015.
- Mac Dowell, 2005. *Canadian J. Animal Sci.* 86 : 171
- Marché G., 1995. La découpe anatomique et la dissection des volailles, 71 pp.
- Larbier M., Leclerc B., 1992, *Nutrition et alimentation des volailles*. INRA Editions, 168 pp.
- Meynier A., Viau M., Juin H., Métro B., Uzu G., Vrignaud M., Gandemer G., 1999. *Journées de la Recherche Avicole*, 3, 351-354.
- NRC, 1994. *Nutrients Requirements of Poultry*, National Acad. Sci., National Research Council, 176 pp.
- Orban J.I., Roland D.A., Cummins K. and Lovell R.T., 1993. *Poult.Sci.*, 72, 691.
- Pérez-Vendrell Anna Maria, Hernández José M, Llauradó Lluís, Brufau Joaquim, 2003. *Journées de la Recherche Avicole*, 5, 165-168.
- Rennie J.S. and Whitehead C.C., 1996. *Poult.Sci.*, 37, 413.
- Sheldon B.W., Curtis P.A., Dawson P.L. and Ferket P.R., 1997. *Poult.Sci.*, 76, 634.
- Stahly T.S. and Cook D.R., 1996 *J. Anim. Sci.*, 74, 170.
- Whitehead C.C., 2000. *Poultry nutrition*, 1, 32-34.
- Whitehead C.C., 2002. *Poultry Feedstuffs*, 26, 181-190.

Tableau 1. Caractéristiques théoriques des apports des prémix, en mg ou U.I. / kg d'aliment

Prémix vitamines	Démarrage			Croissance			Finition		
	Témoin	OVN TM	OVN / Tém.	Témoin	OVN TM	OVN / Tém.	Témoin	OVN TM	OVN / Tém.
Valeurs théoriques									
Vitamine A, UI/kg	9800	10000	x 1,1	9000	10000	x 1,0	8100	10000	x 1,2
Vitamine D ₃ , UI/kg	2300	3000	x 1,3	2200	3000	x 1,4	1900	3000	x 1,6
Vitamine K ₃	1,57	4,00	x 2,5	1,47	4,00	x 2,7	1,42	4,00	x 2,8
Vitamine B ₁₂	0,014	0,040	x 2,8	0,013	0,030	x 2,3	0,009	0,020	x 2,2
Acide pantothénique	10,00	12,50	x 1,4	9,00	12,00	x 1,3	8,00	10,0	x 1,2
Acide ascorbique (vitamine C)	0	200	-	0	100	-	0	100	-
Résultats d'analyses									
Vitamine E	32	210	x 6,6	33	54,5	x 1,7	38	173	x 4,6
Thiamine (vitamine B ₁)	6,1	7,3	x 1,2	6,2	7,3	x 1,2	2,5	3,8	x 1,5
Riboflavine (vitamine B ₂)	5,4	7,4	x 1,4	5,7	7,6	x 1,7	5,7	7,6	x 1,3
Pyridoxine (vitamine B ₆)	3,3	7,0	x 2,1	4,9	5,2	x 1,1	2,9	3,8	x 1,3
Niacine (vitamine PP)	75	69	x 0,9	70	78	x 1,1	104	132	x 1,3
Acide folique	0,91	1,86	x 2,0	1,01	1,39	x 1,4	0,32	0,66	x 2,1
Biotine	0,34	0,44	x 1,3	0,26	0,43	x 1,7	0,23	0,61	x 2,7

Tableau 2. Résultats zootechniques

Périodes d'élevage	P1			P2			P3			Période totale (PT)		
	1	2	Prob. H0 (1)	1	2	Prob. H0 (1)	1	2	Prob. H0 (1)	1	2	Prob. H0 (1)
Performances zootechniques (n=11 parquets)												
Consommation, g	632b	641a	**	2437b	2493a	*	2848	2840	NS	5918	5974	0,17
Gain de poids, g	485b	496a	**	1113	1127		819	823	NS	2418	2446	0,18
<i>Ecart type</i>	±9	±5		±28	±21		±21	±20		±43	±38	
- mâles	517	524		1272 a	1269 a	Inter	976	971		2766	2763	
- femelles	454	466		957 c	980 b	T x S *	666	671		2078	2116	
Indice de consommation	1,30	1,29	0,10	2,19	2,21	NS	3,48	3,45	NS	2,45	2,44	NS
Index de performance										126	129	0,18
Observations d'élevage (n= 66 individus)												
• Etat bréchets à 77 jours												
Absence de lésions, %										35	35	χ ² NS
• Emplumement												
- mâles				41	47	χ ² 0,14	18	24	χ ² 0,20			
- femelles				97	95	χ ² NS	88	89	χ ² NS			
• Mortalité sur l'ensemble de la population												
Effectif	16	8		6	2		1	0		23	10	0,19
P. cent	3,3	1,6		1,2	0,4		0,2	-		4,7	2,0	

(1) NS : P > 0.20 ; * : P compris entre 0,01 et 0,05 ; ** : P compris entre 0,001 et 0,01 ; *** P < 0,001